

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Průmyslové inženýrství a management

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Implementace kolaborativního robota

Autor: **Bc. Tomáš Valdman**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.**

Akademický rok 2016/2017

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma *Implementace kolaborativního robota* vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů a pramenů, které jsou v práci citovány a jsou také uvedeny v seznamu použité literatury a zdrojů.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval doc. Ing. Michalu ŠIMONOVĚ, Ph.D., Ing. Josefu BABOROVĚ a všem pracovníkům jak ze společnosti Valeo Autoklimatizace, k. s., tak ze společnosti DREAMland, s. r.o. za věnovaný čas, cenné rady a připomínky, které mi byli ochotni poskytnout při tvorbě diplomové práce.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc.Valdman	Jméno Tomáš	
STUDIJNÍ OBOR	N2301 – Průmyslové inženýrství a management		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. ŠIMON, Ph.D	Jméno Michal	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Implementace kolaborativního robota		

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2017
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	84	TEXTOVÁ ČÁST	84	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Práce shrnuje teoretické poznatky z oblasti automatizace a popisuje způsoby hodnocení výrobních procesů. Dále je provedena analýza trhu v oblasti kolaborativních robotů a analýza požadavků bezpečnosti, které jsou legislativou kladeny na kolaborativní roboty. Praktická část práce se zabývá možnostmi automatizace na vybraných pracovištích s využitím kolaborativních robotů s cílem nahradit pracovníky. Ze čtyř pracovišť byla pro implementování robota doporučena dvě pracoviště, pro která byla vytvořena technická řešení implementace včetně robota, který byl pomocí analýzy trhu vybrán. Nakonec byla stanovena doba návratnosti implementace na obou pracovištích a byla zvolena externí firma, která implementaci robotů uskuteční.
KLÍČOVÁ SLOVA	cobot, kolaborativní robot, legislativa, bezpečnost, automatizace, implementace, procesy pro automatizaci, nahrazení pracovníka

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Valdman	Name Tomáš		
FIELD OF STUDY	N2301 – Industrial Engineering and management			
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. ŠIMON, Ph.D	Name Michal		
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV			
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR		Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Implementation of collaborative robot			

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2017
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	84	TEXT PART	84	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>The thesis summarizes the theoretical knowledge from the area of automation and describes ways of evaluation of production processes. In addition, the thesis deals with the analysis of the market in the field of collaborative robots and the analysis of safety requirements, which are legislated on the collaborative robots. The practical part deals with the possibility of automation in selected workplaces with the use of collaborative robots in order to replace the workers. Of the four workplaces, two workplaces were recommended for robot implementation. For these workplaces, technical implementation solutions were developed including the robot that was selected by market analysis. In conclusion, the payback time of the implementation was set at both workplaces and an external company was selected to realize the robot implementation.</p>
KEY WORDS	cobot, collaborative robot, legislation, safety, automation, implementation, processes for automation, replacement of worker

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ A POJMŮ	11
ÚVOD DO ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	12
1 AUTOMATIZACE A ROBOTIZACE	13
1.1 Historický vývoj	13
1.2 Definování základních pojmů.....	14
1.3 Průmyslový robot	16
1.3.1 Hlavní části průmyslových robotů	16
1.3.2 Parametry průmyslových robotů	17
1.3.3 Rozdělení průmyslových robotů	17
1.4 Typy automatizace.....	19
2 HODNOCENÍ A KVANTIFIKACE VÝROBNÍCH PROCESŮ	21
2.1 Výrobní proces	21
2.1.1 Členění podle časového hlediska	21
2.1.2 Druhy výrobních procesů	21
2.2 Hodnocení procesů	22
2.2.1 Hodnocení (měření) výrobních procesů z hlediska výkonnosti	23
2.2.2 Hodnocení (měření) výrobních procesů z hlediska variability	24
3 KOLABORATIVNÍ ROBOTY	27
3.1 Popis kolaborativního robota – cobota	27
3.2 Výhody, nevýhody a využití.....	29
3.3 Parametry cobotů.....	30
3.4 Výrobci cobotů	32
3.5 Analýza trhu vyráběných cobotů.....	33
3.6 Nástroje – efekторы	34
4 ANALÝZA POŽADAVKŮ BEZPEČNOSTI	36
4.1 Technické normy strojů a zařízení.....	36
4.2 Důležité předpisy týkající se strojů a strojních zařízení	37
4.3 Technické normy týkající se robotů a cobotů.....	39
4.4 Legislativní problémy při implementace cobotů	45

5	ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU VE SPOLEČNOSTI	47
5.1	Definování společnosti	47
5.2	Definování vybraných výrobních linek a pracovišť	49
5.2.1	Automatická linka – B479.....	50
5.2.2	Definování pracoviště BALENÍ.....	50
5.2.3	Automatická linka – MQB	52
5.2.4	Definování pracoviště BALENÍ.....	53
5.2.5	Poloautomatická linka – LK.....	55
5.2.6	Definování pracoviště KLIPOVÁNÍ.....	56
5.2.7	Poloautomatická linka C346MCA	58
5.2.8	Definování pracoviště KLIPOVÁNÍ.....	58
6	IMPLEMENTACE COBOTA NA VYBRANÁ PRACOVIŠTĚ.....	61
6.1	Výběr vhodného cobota.....	61
6.2	Posouzení vhodnosti vybraných pracovišť pro automatizaci	63
6.2.1	Pracoviště BALENÍ na lince B479	64
6.2.2	Pracoviště BALENÍ na lince MQB.....	65
6.2.3	Pracoviště KLIPOVÁNÍ na lince LK.....	66
6.2.4	Pracoviště KLIPOVÁNÍ na lince C346MCA	68
6.3	Návrh technického řešení implementace na vhodných pracovištích.....	69
6.3.1	Návrh technického řešení na pracovišti BALENÍ – linka B479	69
6.3.2	Návrh technického řešení na pracovišti BALENÍ – linka MQB.....	71
6.4	Stanovení doby návratnosti implementace na vhodných pracovištích	73
6.4.1	Stanovení TN na pracovišti BALENÍ – linka B479.....	74
6.4.2	Stanovení TN na pracovišti BALENÍ – linka MQB	76
6.5	Umístění cobota na pracoviště v souladu s bezpečností.....	78
7	ZÁVĚR.....	80
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	81

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1-1: Průmyslové roboty [23].....	16
Obrázek 1-2: Kartézský robot [28].....	17
Obrázek 1-3: Scara robot [25].....	18
Obrázek 1-4: Kloubový robot [26].....	18
Obrázek 1-5: Redundantní robot [27]	18
Obrázek 1-6: Delta robot [24]	19
Obrázek 1-7: Dual-arm robot [29].....	19
Obrázek 3-1 Průmyslový robot uzavřen v kleci [20]	27
Obrázek 3-2: Kolaborativní robot spolupracující s člověkem [5].....	28
Obrázek 3-3: Programování kolaborativního robota [13]	28
Obrázek 3-4: Vhodné aplikace pro využití kolaborativní roboty [31]	29
Obrázek 3-5: Chapadlo RG2 od firmy Universal Robots [38].....	35
Obrázek 3-6: Chapadlo Co-act JL1 od firmy Chunk [39].....	35
Obrázek 3-7: Použití mezičlenu v praxi [40]	35
Obrázek 4-1 Značka pro označení shody [6].....	39
Obrázek 4-2: Pracovní prostor spolupráce [12].....	43
Obrázek 5-1: Montážní a personální hala ve Valeo Autoklimatizace, k. s. [21].....	47
Obrázek 5-2: Ovládací panel na stahování oken s pěti spínači	48
Obrázek 5-3: Ovládací panel klimatizační jednotky	49
Obrázek 5-4: Layout automatické linky B479 – upraveno dle [42].....	50
Obrázek 5-5: Pracoviště BALENÍ na lince B479 [zdroj autor]	51
Obrázek 5-6: Balení výrobků do kartonové krabice [zdroj autor]	51
Obrázek 5-7: Balení výrobků do vratných boxů z EPP [zdroj autor].....	51
Obrázek 5-8: Layout automatické linky MQB – upraveno dle [42]	53
Obrázek 5-9: Pracoviště BALENÍ na lince MQB [zdroj autor].....	53
Obrázek 5-10: Kartonová mřížka v plastové bedně [zdroj autor]	54
Obrázek 5-11: Layout linky LK – upraveno dle [42].....	56
Obrázek 5-12: Pracoviště KLIPOVÁNÍ na lince LK [zdroj autor].....	56
Obrázek 5-13: Detail PPD, paletky a tiskárny na štítky [zdroj autor]	57
Obrázek 5-14: Layout linky C346MCA – upraveno dle [42]	58
Obrázek 5-15: Pracoviště KLIPOVÁNÍ na lince C346MCA [zdroj autor]	59

Obrázek 5-16: Detail pracoviště [zdroj autor].....	59
Obrázek 6-1: Coboty UR5 a UR10 společnosti Universal Robots [41].....	63
Obrázek 6-2: Umístěné štítky na uzavřených boxech z EPP [zdroj autor]	65
Obrázek 6-3: Zapojování konektoru kablíku do konektoru paletky [zdroj autor].....	67

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Výhody a nevýhody cobotů	29
Tabulka 2: Přehled výrobců a typů cobotů.....	32
Tabulka 3: Přehled dostupných cobotů na trhu – upraveno dle [5].....	33
Tabulka 4: Seznam významných nebezpečí – vytvořeno dle [9].....	41
Tabulka 5: Hodnoty efektivní hmotnosti a tuhosti pro model člověka [12].....	43
Tabulka 6: Biomechanické limity [12].....	44
Tabulka 7: Vybrané výrobní linky a pracoviště	48
Tabulka 8: Komponenty ovládacího panelu klimatizační jednotky	49
Tabulka 9: Činnosti a jejich trvání na pracovišti BALENÍ - linka B479	52
Tabulka 10: Činnosti a jejich trvání na pracovišti BALENÍ - linka MQB.....	54
Tabulka 11: Činnosti a jejich trvání na pracovišti KLIPOVÁNÍ - linka LK	57
Tabulka 12: Činnosti a jejich trvání na pracovišti KLIPOVÁNÍ - linka C346MCA	59
Tabulka 13: Výběr vhodných cobotů.....	62
Tabulka 14: Nejvhodnější coboty pro vybraná pracoviště – upraveno dle [5].....	62
Tabulka 15: Činnosti možné automatizovat na pracovišti BALENÍ – linka B479	64
Tabulka 16: Poměr automatizovaných a neautomatizovaných činností.....	64
Tabulka 17: Činnosti možné automatizovat na pracovišti BALENÍ – linka MQB.....	65
Tabulka 18: Poměr automatizovaných a neautomatizovaných činností.....	66
Tabulka 19: Činnosti možné automatizovat na pracovišti KLIPOVÁNÍ – linka LK	66
Tabulka 20: Poměr automatizovaných a neautomatizovaných činností.....	67
Tabulka 21: Činnosti možné automatizovat na pracovišti KLIPOVÁNÍ – linka C346MCA	68
Tabulka 22: Poměr automatizovaných a neautomatizovaných činností.....	68
Tabulka 23: Pořizovací náklady na investici technického řešení na lince B479.....	71
Tabulka 24: Pořizovací náklady na investici technického řešení na lince MQB	73
Tabulka 25: Položky a jejich hodnoty pro výpočet ÚMNO.....	75
Tabulka 26: Položky a jejich hodnoty pro výpočet MNS	75

Tabulka 27: Položky a jejich hodnoty pro výpočet MNÚ.....	75
Tabulka 28: Položky a jejich hodnoty pro výpočet ÚMNO.....	77
Tabulka 29: Položky a jejich hodnoty pro výpočet MNS	77
Tabulka 27: Položky a jejich hodnoty pro výpočet MNÚ.....	77

SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ A POJMŮ

COBOT	Collaborative robot
N/A	Not Available
EPP	Extrudovaný polypropylen
SAP	Systeme Anwendungen Produkte in der Datenverarbeitung
PC	Personal computer
FIFO	First In, First Out
CE	Conformity Declaration
PPD	Pressure Press Device
PCB	Printed Circuit Board
ICT	In-Circuit Testing
EMC	Electro-Magnetic Compatibility
TN	doba návratnosti
Klipování	spojování součástí k sobě pomocí zařízení PPD
Kontrola Finger Pointingem	kontrola pomocí prstů (dotek, zmáčknutí, promáčkávání)

ÚVOD DO ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V dnešní době dochází k rostoucímu zájmu o využívání automatických výrobních zařízení, a to především kvůli neustále rostoucímu tlaku na zvýšení produktivity a kvality výroby. Dalším důvodem je například zvýšení konkurenceschopnosti firem a jejich udržení na finančním trhu. Díky automatizaci dochází ke změnám ve výrobních, technologických a celkově v logistických procesech, a to nejen ve strojírenství, ale i v dalších sektorech. V rámci automatizace jak celých procesů, tak jednotlivých úkonů v procesech se v různých odvětvích čím dál více prosazují především manipulátory a roboty. Zvyšování efektivity, kvality a produktivity práce nelze bez modernizace, rekonstrukce a automatizace výrobních zařízení zajistit. V oblasti robotiky se však v současné době rozvíjí nový trend spolupracujících (jinak také kolaborativních či kooperujících) robotů, které jsou schopné pracovat po boku lidí bez použití bezpečnostních klecí. Protože pro firmy představují potenciál vyšší konkurenceschopnosti, je snaha firem implementovat tento druh robotů na svá pracoviště.

Cílem práce na téma *Implementace kolaborativního robota* je obecně zjistit, na kterých pracovištích v reálné společnosti, je implementování kolaborativního robota vhodné a který robot je pro to nejvhodnější. Tato vhodná pracoviště budou dále doporučena pro implementaci robota, kterou zajistí jiná externí společnost.

Pro splnění cíle práce je nejprve provedena analýza trhu kolaborativních robotů, čímž je zjištěno, které existují druhy, jaké mají využití, jaké parametry je definují atd. Dále je provedena analýza požadavků bezpečnosti. Tato kapitola má za úkol zjistit, jaká jsou omezení a problémy s implementací z hlediska legislativních předpisů (norem aj.), jak tyto případné problémy řešit a jaké jsou tedy možnosti implementace kolaborativního robota. V další kapitole je provedena analýza současné situace – tzn. definování společnosti, definování jednotlivých vybraných linek a vybraných pracovišť na těchto linkách, a to zejména z hlediska činností. Prováděné činnosti na těchto pracovištích a jejich doba trvání jsou klíčové pro určení vhodnosti pracoviště pro implementování robota. V další kapitole jsou pracoviště hodnocena z hlediska činností, které je možné z operátora převést na robota a zjistit tak, z kolika procent lze operátora nahradit. Na pracovištích tak bude proveden výběr vhodných činností (procesů) pro automatizaci. U vhodných pracovišť je dále navrženo technické řešení implementace včetně nákladů na investici tohoto řešení. Dále je pro tato pracoviště stanovena i doba návratnosti implementace.

Než bude provedena výše popsána praktická část, je nejprve nutné představit historický vývoj a základní pojmy z oblasti automatizace a robotizace – především průmyslové roboty. Dále je v teoretické části zpracovaná kapitola zabývající se hodnocením a kvantifikací výrobních procesů, neboť jak už bylo zmíněno, na základě vhodných procesů pro automatizaci bude vybráno pracoviště a následně i kolaborativní robot.

1 AUTOMATIZACE A ROBOTIZACE

V současné době je automatizace významný a základní nástroj pro zvýšení efektivity, produktivity, jakosti a hlavně konkurenční schopnosti výroby a služeb. To je také důvod proč dnešní podniky stále více a více investují do automatizace a robotizace. Jsou to prostředky jak obstát ve světové konkurenci a úspěšně se začlenit do globální světové ekonomiky. Automatizace mimo jiné také umožňuje zajistit vyšší bezpečnost, zdraví, pohodlí a celkovou pohodu lidí při práci, neboť zbavuje pracovníky těžké, zdraví a životu nebezpečné nebo únavové práce. [1]

V praxi se dělníci nahrazují automaty (roboty), a to všude tam, kde se jedná o práci ve škodlivém prostředí (chemické výpary a látky, škodlivý prach, namáhavá práce, nevhodné teplotní podmínky atd.) nebo o práci monotónní (stále se opakující činnosti). Automatizace výroby nahrazuje pracovníky nejen z výše uvedených důvodů, ale také proto, že jejím zvýšením dojde i ke zvýšení kvality výroby. V podstatě v praxi dnes můžeme vidět automatizaci téměř všude, ať už se jedná o automaty na potraviny, samoobslužné kasy v obchodních centrech či technologie, které zcela mění rozměr řízení automobilů aj.

V oblasti robotizace, jak bylo výše zmíněné, je snaha nahrazovat dělníky roboty, a to převážně kvůli finančním důvodům, neboť firma ačkoliv do robota na počátku investuje, ve výsledku získá vyšší výnos, neboť u robota odpadají mzdové náklady, s čímž souvisí i zdravotní a sociální pojištění, které musí platit za každého pracovníka. Dalším důvodem je výkon robota. Když nebudeme počítat nutné přestávky na údržbu a pauzy kvůli změně technologie či přenastavení robota, je robot schopen pracovat téměř „neomezenou dobu“. Robotizace se dnes využívá jak v hromadných, tak i v kusových výrobcích a manufaktury, ve kterých dochází k zhotovování a manipulaci s těžkými výrobky tuto pomoc také ocení. Vzhledem k tomu, že se oblast automatizace a robotizace stále rozvíjí a její možnosti se rozšiřují, budou za pár let roboty představovat standardní vybavení úplně každého podniku, neboť problém vyšší ceny a dostupnosti nebude tak zásadní.

1.1 Historický vývoj

Ačkoliv historie automatizace začíná v moderním slova smyslu až ve 20. století, první známky o její existenci najdeme už v dobách starověku.

Již 200 let př. n. l. byly v egyptské Alexandrii otevírány a zavírány velké chrámové dveře za pomocí ohně, vody a z nich vzniklé vodní páry. Ve středověku pak za vrchol řemeslnické dovednosti byl považován například hodinový stroj. Ke skutečnému sestrojení automatických strojů došlo až v roce 1801. V tomto roce byly vynalezeny doprácací stroje, které byly plně využívány při předení. [16]

Důležitá data z moderní historie automatizace

- 1588 – první výrobní automat – vibrační podavač obilí
- 1801 – vynalezení prvního automatického doprácací stroje
- 1914 – vznik první montážní automatické linky v automobilce Ford
- 1928 – první uplatnění automatů v automatické montáži Smithovy továrny v Milwaukee

- 1938 – Claude E. Shannon položil základy číslicově řízených strojů
- 1946 – dodání prvního počítače ENIAC americké vládě
- 1949 až 1952 – John Pardons vyvinul systém řízení polohy vřetene obráběcího stroje
- 1956 – založení pobočky FUJITSU Fanuc pro vývoj NC ovladačů
- 1958 – vznik programovacího jazyka APT
- 1961 – americká firma AMF přichází na trh s mnohoúčelovým automatem pod názvem průmyslový robot „VERSETRAN“, který zastává funkci člověka u stroje
- 1974 – instalace prvního průmyslového robota v továrně FANUC
- 1984 – vznik CNC systémů s grafickými programovacími prostředky
- 2003 – v Evropě je instalováno 20 tisíc robotů
- 2008 – ve světě je instalováno 200 tisíc robotů
- 2009 – firma Universal Robots prodává první **kolaborativní robot**
- 2015 – firma Fanuc instaluje po celém světě 400 tisíc robotů a firmy Yaskawa a ABB Robotics 300 tisíc robotů

[2], [16], [17]

V dnešní době se však objevuje nový trend, a to oblast spolupracujících robotů. Jedná se o kolaborativní (či kooperativní roboty) pracující ve spolupráci s člověkem na stejném pracovišti. U tohoto typu automatizace je nezbytné vyčlenit jednotlivé procesy a rozdělit je mezi člověka a robota. Robot je umístěn v blízkosti lidí a nahradí ergonomicky nepříjemné nebo monotónní práce, a člověk tak pracuje s menší fyzickou zátěží a může věnovat energii jiným činnostem – například kontrole. Celý proces se tak zefektivní a zároveň se touto spoluprací člověka a robota zvýší flexibilita a sníží prostorové nároky.

Rychlý technologický posun do roku 2016 a rychle rostoucí trh s kolaborativními roboty (ročním nárůstem 50%), je nyní nejrychleji rostoucím segmentem průmyslové robotiky. Předpokládá se, že v roce 2020 bude tento segment tvořit celkové příjmy kolem 3 bilionů dolarů. [17]

1.2 Definování základních pojmů

Automatizace

Automatizace je souhrn činností, které spočívají v návrhu a realizaci opatření, jež umožňují samočinně vykonávat takové duševní činnosti člověka, které jsou spojeny se spuštěním strojů, s optimalizací chodu strojů a s jejich zastavováním a v poslední řadě s výpočty při řízení provozních parametrů strojů. Stroj jakožto mechanické zařízení vyrobené člověkem nahrazuje, zrychluje, zpřesňuje a celkově usnadňuje lidskou práci. Pokud jsou stroje využívány lidmi pouze k odstranění namáhavé opakující se práce, jedná se pouze o mechanizaci. [30]

Automatizace označuje použití samočinných řídicích systémů k řízení technologických zařízení a procesů. Z pohledu industrializace jde o krok následující po mechanizaci. Zatímco mechanizace poskytuje lidem k práci zařízení, které jim usnadňuje práci, automatizace snižuje potřebu přítomnosti člověka při vykonávání určité činnosti. Při splnění ideálního předpokladu

tzv. komplexní automatizace by teoreticky mohlo dojít až k vyřazení člověka z příslušného výrobního procesu. V praxi se jeví tato možnost jako neuskutečnitelná. Moderní pojetí výrobní automatizace staví člověka a automatizační techniku do role partnerů, automatizační technika pomáhá lidem udržovat technologické procesy efektivní a bezpečné. [1]

Automat

Slovo automat (z řeckého automatos, samohybný) označuje technické zařízení, stroj nebo přístroj, který je zařízen tak, že na nějaký spouštěcí impulz samostatně a spolehlivě vykonává předem určené činnosti, a to bez přímého lidského zasahování. [33]

Automat je obecné označení pro zařízení, které je schopné automatické funkce. Automatická zařízení mohou být jak elektronická, tak i hydraulická, mechanická či pneumatická. Vykonávají přesné pohyby a úkony dle pravidel, která jsou předem stanovená. V praxi práce člověka s automatem funguje tak, že člověk do automatu vloží svou duševní práci jako informaci ve formě programu řízení. Automaty, jak tedy vyplývá, pracují na základě programů a jsou řízeny programy samotnými, které jsem odpovědny za dosažení požadovaného cíle řízení.

Robotizace

Robotizace je v podstatě implementování a využívání robotů na pracovištích. Robotizace pracoviště je například nahrazení dělníků, kteří vykonávají manuální činnosti jedním nebo několika manipulatory apod.

Pracoviště s manipulačním robotem pak umožní vysokou přesnost cílových pozic při přesunu výrobků z místa na místo, s možností vyhýbání se předem definovanému prostoru, při zachování velké rychlosti. Nezanedbatelnou výhodou je možnost manipulace s horkými, těžkými či jinak nesnadno uchopitelnými předměty. [32]

Robotika

Robotika je disciplína, která pomáhá člověku řešit jeho problémy s ulehčováním práce a se zvyšováním produktivity práce, a to cestou využitím technických prostředků jako výsledků duševní a rozumové činnosti celých generací vynálezců, konstruktérů a techniků.

Robotika jako vědecká a technická disciplína je věda o robotech, jejich designu, výrobě a aplikacích. Robotika úzce souvisí s elektronikou, mechanikou a softwarem. [3]

Robot

Oficiální definice robota, kterou vymyslela Mezinárodní organizace pro standardizaci definice robota, je dle normy ISO 8373 následující: Robot je „automaticky řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více osách, který může být buď pevně upevněn na místě, nebo mobilní k užití v průmyslových automatických aplikacích.“ [18]

1.3 Průmyslový robot

Vzhledem k tomu, že je tato práce zaměřena na implementaci kolaborativního robota, což je ve své podstatě druh průmyslového robota, nesmí chybět definice tohoto pojmu.

Dle normy je průmyslový robot automaticky ovládaný, reprogramovatelný víceúčelový manipulátor, programovatelný ve třech nebo více osách, který může být buď pevný, nebo mobilní, určený k použití v průmyslové automatizaci. [34]

Průmyslový robot je tedy automaticky řízený stroj, sloužící člověku ke zpracování látek, energie a informace, případně ke změnám či udržení prostředí člověka. Slouží k obsluze obráběcích strojů, zpracovatelských a dopravních strojů nebo jako náhrada lidí v pracovním procesu.

Od ostatních strojů se průmyslový robot obvykle liší:

- možností přizpůsobení různým průmyslovým požadavkům;
- efektem, upevněným na pohyblivém rameni (efektor je pracovní orgán robota);
- pamětí, sloužící k uložení sledu automaticky opakovatelných pohybů;
- programovatelností.

[3]



Obrázek 1-1: Průmyslové roboty [23]

Typické průmyslové roboty jsou kloubové a mají 6 os pohybu (6 stupňů volnosti). Tato konstrukce umožňuje maximální flexibilitu. Šestiosé průmyslové roboty jsou ideální pro obloukové svařování, bodové svařování, manipulaci s materiálem, obsluhu strojů a další [24].

1.3.1 Hlavní části průmyslových robotů

Dle [3] existují následující části:

- efekty: chapacla, montážní nástroje, rozprašovací nástavce, svařovací kleště;
- převody mechanické energie;
- pohony rotační a posuvné (elektrické, hydraulické a pneumatické), tzv. aktuátory;
- převodníky, čidla;
- řídicí orgány: periferní počítač, zpracování informace pro řízení pohonu;

- podpůrné konstrukce a různá vedení: konzoly, příruby, kuličková vedení;
- periferní orgány: paměť, bezpečnostní systém.

1.3.2 Parametry průmyslových robotů

Jelikož je kolaborativní robot robotem průmyslovým, parametry, které definují průmyslové roboty, jsou tedy obdobné, jako parametry definující kolaborativní roboty. Kolaborativní roboty mají navíc pouze pár parametrů, které u tradičních průmyslových robotů nenajdeme, a protože je v této práci kapitola, která se věnuje přímo kolaborativním robotům, budou veškeré tyto parametry definovány tam (viz kapitola *KOLABORATIVNÍ ROBOTY*).

1.3.3 Rozdělení průmyslových robotů

Průmyslové roboty lze dělit podle několika hledisek. Obecné rozdělení, dělení dle typu vykonávaných pohybů a dělení dle použití.

Obecné rozdělení průmyslových robotů

- **Ruční manipulátory**

Ruční manipulátory též označované jako teleoperátory jsou jednoúčelová nebo víceúčelová manipulační zařízení ovládané člověkem, jejich úkolem je násobit sílu a pohybové možnosti operátora. [14]

- **Manipulátory s pevným programem**

Tyto manipulátory pracují naopak automaticky a bez přímé účasti člověka. Jsou schopné opakovat předem pevně stanovené pracovní cykly, stanovené z několika nebo mnoha dílčích pracovních pohybů. [14]

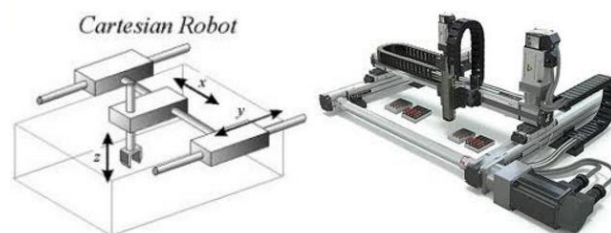
- **Manipulátory s pružným programem**

Manipulátory s pružným programem následují automatizovaný zadaný program, který se však dá rychle změnit přenastavením zadaných prvků řídicího systému. Mezi tyto prvky patří například i průmyslové roboty a také kognitivní roboty. Ty jsou schopny samovolně vytvářet a upravovat program své činnosti. [14]

Rozdělení průmyslových robotů dle typu pohybů

- **Kartézské roboty**

Tyto roboty mají tři lineární klouby a pohybují se pouze lineárně v kartézském systému (osy X, Y, Z).



Obrázek 1-2: Kartézský robot [28]

- **Scara roboty**

Scara roboty mohou provádět translační pohyby a k tomu otáčení kolem svislé osy. Většinou mají válcovitý design a dva rovnoběžné klouby, které zajišťují rovnoběžnost v jedné vybrané rovině.



Obrázek 1-3: Scara robot [25]

- **Kloubové roboty**

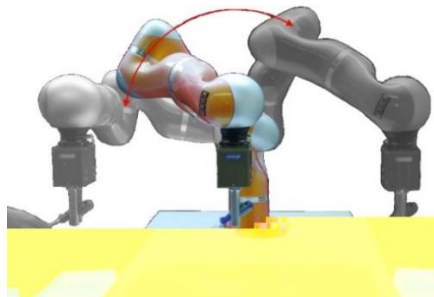
Rameno je připojeno otočným spojem k základně. Spoje jsou na rameni připojeny pomocí kloubů – odtud název kloubové. Každý kloub se nazývá osa a nejčastěji se lze v praxi setkat s šesti kloubovým, tedy s šestiosým robotem. Robot se šesti osami pak může polohovat nástroje v dané poloze (tři translace) a orientaci (tři směry).



Obrázek 1-4: Kloubový robot [26]

- **Redundantní roboty**

Stejně jako kloubové (šestiosé roboty) mohou redundantní roboty polohovat nástroje v dané poloze, ale navíc také mohou pojmout danou pozici nástroje z více odlišných pozic.



Obrázek 1-5: Redundantní robot [27]

- **Delta roboty**

Tyto pavoukové roboty jsou tvořeny z kloubových rovnoběžníků, které jsou připevněny na společnou základnu.



Obrázek 1-6: Delta robot [24]

- **Dual-arm roboty**

Dual-arm roboty jsou roboty s duálními (dvěma) robotickými pažemi, které mohou pracovat společně na jednom výrobku, či zvláště provádět odlišnou činnost.



Obrázek 1-7: Dual-arm robot [29]

Dle použití lze průmyslové roboty dále dělit na:

- **svařovací** – vhodné pro svařování;
- **paletizační** – vhodné pro paletizaci;
- **závěsné** – vhodné pro práci nad výrobním, kontrolovaným či jiným pracovním prostorem;
- **lakovací** – vhodné pro lakování;
- **kolaborativní** – vhodné k mnoha aplikacím (universální, spolupracující a bezpečné roboty).

Pozn.: Protože je práce zaměřena na kolaborativní roboty a jedná se o velmi rozsáhlou oblast, je tento druh robota definován v samostatné kapitole - viz kapitola KOLABORATIVNÍ ROBOTY.

1.4 Typy automatizace

Automatizaci můžeme rozdělit na automatizaci výrobních/nevýrobních procesů, automatizaci komplexní/částečnou a v poslední řadě je možné rozdíly spatřit v nepružném a pružném procesu automatizace.

Dělení dle druhu procesu

- **Automatizace výrobních procesů**

Automatizace výrobních procesů se týká veškerých procesů, jež jsou zapojené do výroby určitých produktů. Za příklady mohou sloužit procesy v hutním, důlním, strojírenském, potravinářském, stavebním nebo automobilovém průmyslu. [14]

- **Automatizace nevýrobních procesů**

Automatizace nevýrobních procesů poté zahrnuje procesy především z oblasti služeb – ať už se jedná o služby veřejné (zdravotnictví, obrana, bezpečnost státu, vzdělání) nebo o soukromé (telekomunikační procesy, prostředky masových médií, apod.) [14]

Dělení dle komplexnosti

- **Automatizace komplexní**

Celkový mechanizovaný proces je plně automatizován a člověk přebírá roli plánování a strategického řízení.

- **Automatizace částečná**

Částečné (neboli také dílčí) automatizaci podléhají jen určité procesy a funkce, zatímco zbylé fáze procesu zůstávají neautomatizovány.

Dělení dle flexibility

- **Nepružná automatizace**

Nepružná (tvrdá) automatizace spočívá v tom, že program automatického technického zařízení nelze vyměnit, nebo jen velmi obtížně s velkými náklady.

- **Pružná automatizace**

V pružné automatizaci je vysoká míra přizpůsobivosti a automatizace tohoto typu nabízí oproti nepružné automatizaci naopak snadnou, rychlou a levnou výměnu programu.

Stupně automatizace

- **Automatické ovládání**

Pro automatické ovládání je specifický otevřený řetězec – tzn., že soustava zajišťující ovládání nemá zprávy o skutečných následcích svého působení.

- **Automatická regulace**

Od předešlého stupně se liší uzavřeným řetězcem, v němž je přítomna zpětná vazba. Tímto stupněm se tedy rozumí samočinné udržování regulované veličiny podle daných podmínek a hodnot.

- **Automatické řízení**

Automatické řízení je automatizací samotných řídicích procesů, kde řízení probíhá bez účasti člověka. [14]

2 HODNOCENÍ A KVANTIFIKACE VÝROBNÍCH PROCESŮ

Hodnocení je specifickou součástí každé rozborové činnosti. Význam hodnocení spočívá v tom, že jeho prostřednictvím lze provést určité závěry o předmětu rozboru. Tyto závěry respektive výsledky jsou zejména vhodné v případě porovnávání více variant. V případě, že je předmětem rozboru několik procesů, lze hodnocením zjistit, který proces je například nejefektivnější atd. Přestože hodnocení provádí vždy určitý člověk, nelze říci, že by hodnocení bylo pouze subjektivní záležitostí. Při hodnocení jsou využívána kritéria, která přestože jsou spjata s cíli hodnotícího subjektu, mají často objektivní základ. Z pohledu interpretace výsledků rozboru má mimořádný význam správná volba hodnotících kritérií. Kritéria musí být zvolena tak, aby hodnocený objekt v jistém stupni vyhověl všem zvoleným kritériím. [4]

Než budou definována jednotlivá kritéria pro hodnocení výrobních procesů, je vhodné nejprve definovat výrobní proces a výrobu.

2.1 Výrobní proces

Proces je obecný pojem pro postupný tok dějů, stavů, aktivit nebo práce. V reálném světě existuje více typů procesů, takže se pojem proces používá v praxi v různých významech. [35]

Výrobní proces je v podstatě souhrn všech dějů při přeměně materiálů a surovin za účasti pracovní síly a výrobních prostředků ve výrobek. Výrobní proces má dvě navzájem spojené složky – technologický a pracovní proces. [4]

Výrobní proces je transformační proces, ve kterém dochází k působení výrobních faktorů. Výsledkem je výrobek nebo služba.

2.1.1 Členění podle časového hlediska

- a) **Předvýrobní** – dochází k přípravě výroby, řeší se otázka zásobování (dostatek materiálu), stejné vybavení.
- b) **Výroba** – materiál se přemění na finální výrobek.
- c) **Odbytová (prvovýrobní)** – balení výrobků, skladování expedice, vyřizování reklamace.

2.1.2 Druhy výrobních procesů

- a) **Podle účasti pracovní síly:**
 - pracovní – člověk přetváří pomocí nástrojů materiál na výrobek, člověk nejvíce zastoupen;
 - automatický – člověk je méně zastoupen, většinu práce za něj vykonává výrobní linka;
 - přírodní – člověk pouze tvoří podmínky (kvašení vína, kynutí těsta).
- b) **Podle ekonomického určení výrobku:**
 - Základní výroba
 - hlavní činnost podniku – výroba výrobků určené k odbytu,
 - vedlejší výroba – výroba náhradních dílů,
 - doplňková výroba – doplňuje výrobu hlavní, zpracovává odpad,

- přidružená výroba – vůbec nesouvisí s hlavní výrobou, v odvětví, kde je nutné využít výrobní kapacitu podniku.
- Pomocná výroba – výroba energie pro vlastní použití, údržba DHM.
- Obslužné procesy – vlastní doprava výrobků, skladování.

[34]

Typy výroby

Dělíme dle počtu vyráběných druhů, podle četnosti vyráběných kusů.

- Kusová výroba (zakázková) – výroba velkého množství druhů výrobků v malém množství, malá či žádná opakovatelnost v nepravidelných odstupech, využití univerzálních strojů, vysoká kvalifikace pracovníků, výroba reaktorů, turbín atd.
- Sériová výroba – výroba méně druhů výrobků ve velkém množství, využití víceúčelových specializovaných strojů (nikoliv univerzálních), méně kvalifikovaní pracovníci, výroba ledniček, automobilů, textilu atd.
- Hromadná výroba – výroba jednoho či několika málo druhů výrobků v obrovském množství, jedná se o linkovou výrobu, využití jednoúčelových strojů, malá kvalifikace pracovníků, největší kapacitní využití strojů, výroba šroubů, ložisek, matic apod.

2.2 Hodnocení procesů

Jak už bylo řečeno výše, hodnocení procesů se provádí pomocí kritérií. Tato kritéria pro hodnocení musí být zvolena tak, aby hodnocený objekt v jistém stupni vyhověl všem zvoleným kritériím.

Dle [4] volba kritérií v podstatě závisí na dvou rozhodujících faktorech:

- na subjektu, který hodnocení provádí;
- na účelu, ke kterému je hodnocení prováděno.

Oba výše uvedené faktory spolu úzce souvisí a navzájem se podmiňují. Subjekt, který provádí hodnocení do určité míry, předurčuje i účel hodnocení a kritéria, která budou k hodnocení využita. Jelikož pro hodnocení výsledků rozboru existuje celá řada kritérií, je vhodné pro usnadnění výběru kritérií a vytvoření soustavy hodnocení provést klasifikaci kritérií podle následujících hledisek. [4]

a) Podle oblastí hodnocení, v nichž se jednotlivá kritéria aplikují.

Z tohoto hlediska se zpravidla rozlišují čtyři základní skupiny kritérií hodnocení procesů.

- Ekonomická kritéria
- Technická kritéria
- Právní kritéria
- Sociální kritéria

b) Podle míry kvantifikovatelnosti

- Kvantitativní kritéria (kvantifikovatelná či podmíněně kvantifikovatelná kritéria)
- Kvalitativní kritéria (obtěžně kvantifikovatelná nebo nekvantifikovatelná kritéria)

c) Podle obsahu

- Naturální kritéria
- Hodnotová kritéria

Zatímco hodnotová kritéria hodnotí jednotkami, naturální kritéria hodnotí spíše přírodní nebo technickou stránku procesu, jejich nevýhoda spočívá v menší míře agregace než u kritérií hodnotových.

d) Podle komplexnosti

- Kritéria komplexní
- Kritéria dílčí

Kritéria komplexní nejsou tak detailní, ale zaměřují na více oblastí. Na rozdíl od toho se kritéria dílčí zaměřují jen na určitou oblast, avšak do většího detailu.

Je důležité dbát na to, aby kritéria odpovídala složitosti procesů, které chceme hodnotit. Při použití nevhodných kritérií může dojít buď k chybám, nebo ke zkreslení výsledků hodnocení.

Proces je účinný tehdy, pokud jeho výstup dosahuje plánovaných a požadovaných parametrů, a to jak kvalitativních, tak i kvantitativních. Naproti tomu proces je efektivní, je-li při dosažení všech požadovaných a plánovaných parametrů dosaženo přidané hodnoty, kterou interní či externí zákazník ocení. Při úvaze Paretova principu na efektivnost procesu lze říci, že proces je optimálně efektivní, je-li získáno 80% výsledku při 20% vstupního úsilí. [19]

Dle [19] lze proces hodnotit ze dvou následujících hledisek.

- 1) Hodnocení procesů z hlediska výkonnosti (efektivnost, účinnost procesu).
- 2) Hodnocení procesů z hlediska variability (proměnlivost procesu následkem vnitřních a vnějších vlivů).

2.2.1 Hodnocení (měření) výrobních procesů z hlediska výkonnosti

Pokud chceme procesy regulovat, hodnotit a měřit, musíme změřit jejich výkonnost. Důležitou věcí při měření výkonnosti je nutné nejprve stanovit měřicí body. Měřit se pak musí jak výstupy, tak i vstupy do procesu. Určení výše zmíněných měřících bodů se odvíjí na požadované zjišťované ukazatele a metody analýzy. Počet měřících bodů musí v průběhu vlastního procesu odpovídat možnostem vzniku variability. Při měření pouze vstupů a výstupů by nebylo možné nikdy identifikovat příčiny vzniku odchylek od požadavků, které mohou na jakémkoliv místě procesu vzniknout.

Kvantitativní kritéria či ukazatele pro měření výkonnosti procesů dle [19]:

a) Univerzální kritéria (ukazatele) měření výkonnosti:

- průběžná doba procesu;
- efektivní využití doby procesu;
- celkové náklady na proces;
- efektivní využití nákladů;
- podíl neshod v procesu;
- procesem přidaná hodnota (úroveň Sigma způsobilosti, počet registrovaných odchylek) apod.

b) Kritéria měření výkonnosti výrobních procesů:

- průměrnou ziskovost na pracovníka;
- indexy způsobilosti strojů a procesu;
- obrátkovost materiálu;
- podíl neshodných výrobků k výstupům;
- účinnost zajištění termínů ve výrobě apod.

c) Kritéria měření výkonnosti nevýrobních procesů:

- před výrobou (marketing apod.);
- v průběhu výroby (údržba, zásobování apod.)
 - podíl nákladů na údržbu k výrobním nákladům,
 - obrátka zásob apod.;
- po skončení výroby (servis apod.)
 - podíl splněných reklamací v termínu a dalších závazků servisu zákazníkům,
 - náklady na reklamace apod.

2.2.2 Hodnocení (měření) výrobních procesů z hlediska variability

Každý proces vykazuje variabilitu, a to i za relativně stálých podmínek, která je způsobena různými příčinami nebo vlivy.

Tyto příčiny a vlivy lze dle [19] v zásadě rozdělit na dvě skupiny.

- **Náhodné vlivy (96%)**

Těž inherentní působí uvnitř procesu. I když mají procesy vlivem těchto příčin předvídatelné chování, není možné je zcela eliminovat, lze však určitými zásahy do procesu jejich působení omezit například úpravou kolísání teploty, použitím přesnějšího přístroje, změnou momentálního psychického stavu pracovníků apod.

- **Identifikovatelné vlivy (4%)**

Těmto vlivům se říká vymejitelné a mají nepředvídatelné chování. Proces ovlivňují tím, že hodnoty znaku jakosti se mění postupně (postupné opotřebení nástroje), nebo náhle (zlomení nástroje). I když to jsou obecně nepředvídatelné vlivy, za předvídatelné lze

považovat některé příčiny, a to pouze ty, které plynou z fyzikální podstaty procesu – např. výše uvedené postupné opotřebenosti nástroje. Identifikovatelné náklady mohou být zcela eliminovány, nebo alespoň minimalizovány, a to v relativně krátké době při relativně nízkých nákladech.

Cílem je dosažení přijatelné, pokud možno stabilní, úrovně variability procesu a postupné snižování této variability na požadované optimum. Pro řízení variability procesů a následně ovlivnění jejích příčin se používá několik nástrojů, jako jsou např.: histogramy, postupové diagramy, Paretova analýza, bodové diagramy, regulační diagramy aj. [19]

Jak bylo uvedeno výše, pro hodnocení výrobních procesů a obecně procesů se používají určitá kritéria. Tato kritéria se dělí podle charakteru na kvantitativní a kvalitativní.

1) Kvantitativní kritéria

Kvantitativní kritéria jsou obecně kritéria, jejichž hodnoty jsou vyjádřeny číselně pomocí určitých jednotek. Při hodnocení procesů lze použít kvantitativní kritéria pro získání potřebných hodnot procesu – viz seznam kritérií v kapitole *Hodnocení (měření) výrobních procesů z hlediska výkonnosti*. Hodnocení procesů z hlediska výkonnosti (efektivnost, účinnost procesu) Každou hodnotu kritéria (např. doba trvání operace) lze sečíst, a získat tak konečnou hodnotu daného kritéria např. celkovou dobu procesu. Při kvantitativním hodnocení se používají nástroje a měření – pokud budou dva lidé stejnou situaci hodnotit kvantitativně, měli by dosáhnout stejného výsledku.

2) Kvalitativní kritéria

Kvalitativní kritéria nelze vyjádřit číselně, ale například slovně ano. Nejsou tedy vyjádřena tvrdými metrikami (jednotkami), ale slovním či bodovým hodnocením. Kvalitativní hodnocení procesů je více subjektivní a méně spolehlivé než kvantitativní. Neprovádí se pomocí měření či nástrojů, nýbrž pomocí smyslů člověka – je tím pádem těžší, neboť dva lidé mohou stejnou situaci hodnotit odlišně. Pro hodnocení procesů pomocí kvalitativních kritérií lze použít několik metod např. dotazník, strukturovaný rozhovor atd. Tyto metody jsou založeny na principu otázek a odpovědí. Otázky jsou uzavřené (respondent má na výběr jednu nebo více odpovědí), dichotomické (respondent má na výběr z možností ano/ne), trichotomické (respondent vybírá z možností ano, ne, nevím), popřípadě je užito výčtových nebo výběrových otázek. Kvalitativním kritériem může být například následující dichotomická otázka ze strany respondenta: „Je proces možno provádět paralelně?“ a odpovědí je potom „ANO“, či „NE“.

V případě, že hodnotíme procesy za účelem získání nejlepší varianty procesu, musíme výsledky těchto variant porovnat. Ovšem toto porovnání bude jiné při použití kvalitativních a jiné při použití kvantitativních kritérií.

Při využití **kvantitativních kritérií** stačí pouze porovnat hodnoty daného kritéria (např. průběžná doba procesu, celkové náklady na proces a další, viz str. 24) u všech variant. Ta varianta, jež má nejvyšší, nebo nejnižší hodnotu daného kritéria je optimální.

Při využití **kvalitativních kritérií** nelze porovnat hodnoty, neboť kritérii jsou většinou otázky a výsledky jsou ve formě odpovědí. Tyto odpovědi však mají kvalitativní charakter, a proto není hned možné určit, která varianta je nejlepší. Pro získání hodnot, tedy čísel z těchto kvalitativních dat, se používá tzv. **sekundární kvantifikace**.

Pomocí sekundární kvantifikace tedy získáme potřebná kvantitativní data (hodnoty), díky kterým je dále možno určit číselné výsledky variant a následně vybrat tu nejlepší.

Sekundární kvantifikace je v podstatě ohodnocení odpovědí určitou škálou hodnocení. Každá odpověď je pak vyjádřena hodnotou (číslem), po jejichž součtu je pro každou variantu zřejmé, že nejlepší varianta je ta s nejvyšším, nebo nejnižším číslem (závisí na způsobu stanovení škály hodnocení a samotném způsobu hodnocení).

Pro vyhodnocení se používá řada metod. Většina metod pro hodnocení vyžaduje nejprve stanovení váhy jednotlivých kritérií hodnocení, které vyjadřují číselně význam těchto kritérií (resp. důležitost kritérií z hlediska hodnotitele). Čím je kritérium významnější (resp. za čím významnější hodnotitel určité kritérium považuje), tím je jeho váha větší. Pro dosažení srovnatelnosti vah souboru kritérií stanovených různými metodami se tyto váhy zpravidla normují tak, aby jejich součet byl roven jedné. [15]

Mezi metody stanovení vah kritérií patří:

- metoda párového srovnání;
- metoda alokace 100 bodů;
- metoda stanovení preferenčního pořadí kritérií;
- Saatyho metoda;
- metoda postupného rozvrhu vah.

Tyto metody se od sebe liší především složitostí, srozumitelností pro hodnotitele a náročností na typ informací, které je nutné získat od hodnotitele pro stanovení vah jednotlivých kritérií.

3 KOLABORATIVNÍ ROBOTY

Tato kapitola se zabývá definováním kolaborativních robotů a jejich srovnáním s roboty tradičními. Jsou zde představeny výhody, nevýhody a aplikace, na které je možno kolaborativní roboty využít a dále parametry těchto robotů. Nejdůležitější částí této kapitoly je analýza trhu v oblasti kolaborativních robotů, jejíž cílem je zjistit, které typy kolaborativních robotů jsou na trhu dostupné a které výrobci je vyrábějí. Pro celkový přehled a možné srovnání kolaborativních robotů je vytvořena tabulka, která mimo jiné udává základní parametry těchto robotů. Poslední část kapitoly se zabývá problematikou nástrojů a jejich možné aplikaci na kolaborativní roboty.

3.1 Popis kolaborativního robota – cobota

Kolaborativní robot (z angl. cobot) je, jak již název napovídá, spolupracující robot, který skutečně spolupracuje s lidmi. Jedná se o nový trend v oblasti robotiky, neboť až do teď byly roboty velká, těžká, silná a robustní zařízení, která pracovala na konkrétních úkolech. Z bezpečnostních důvodů se kolem těchto robustních strojů zřizovaly ploty a senzory včetně signalizace. Pro řízení a programování robotů jsou nezbytné také vysoké programové znalosti, tedy řízení a programování robotů nemohl dělat každý. Roboty jsou obecně navrženy tak, aby pracovaly pro lidi a dle relativně složitého programu vykonávaly činnosti v uzavřeném prostoru. Viz obrázek níže.



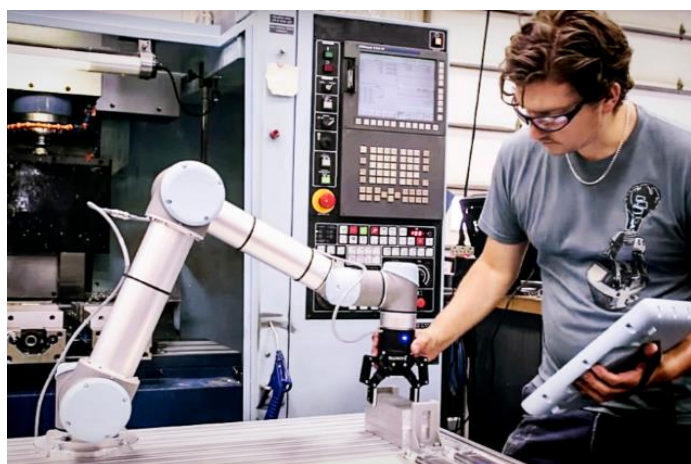
Obrázek 3-1 Průmyslový robot uzavřen v kleci [20]

Kolaborativní robot (dále jen cobot) je schopen například zvednout objekt z přepravky, vložit ho do nějakého zařízení (lis, přípravek, atd.), následně ho vyjmout a odložit na paletu, nebo ho podat člověku přímo do ruky. Odlišnost těchto robotů od tradičních je především ve výše zmíněné spolupráci s člověkem a v jeho umístění na pracovišti. Tradiční robot, jak již bylo řečeno, je ohraničen bezpečnostní klecí a senzory, které jsou mnohdy drahé a brání ke snadnému přístupu. Zatímco cobot ohraničen klecí být nemusí a je pro člověka volně přípustný (snazší údržba a menší náklady).



Obrázek 3-2: Kolaborativní robot spolupracující s člověkem [5]

Coboty jsou navrženy pro práci po boku lidských kolegů, a proto jsou některé vybaveny funkcemi a detekčními senzory, které umožňují rozpoznat, kde se operátoři nachází v každém okamžiku. Cobot je vybaven také bezpečnostními prvky a integrovanými senzory, které při zaznamenání vyššího odporu či vnější síly zastaví pohyb stroje. Části cobotů (klouby, ramena, atd.) jsou navíc buď přímo vyrobeny z bezpečných materiálů sloužící k pohlcení energie při kolizi s člověkem, nebo jsou z těchto materiálů jen pokryty (kompletně, částečně). Některé coboty, jako například cobot Baxter od firmy ABB, jsou dokonce naprogramovány tak, aby okamžitě zastavily činnost, pokud představuje nebezpečí pro člověka blízkého. Tím odpadá nutnost vytváření bezpečnostních krytů, neboť coboty jsou navrženy takovým způsobem, že mohou pracovat mezi lidmi. I když jsou coboty relativně bezpečné, během jejich používání se objevuje mnoho problémů související s bezpečností. Touto problematikou se podrobněji zabývá kapitola *ANALÝZA POŽADAVKŮ BEZPEČNOSTI*.



Obrázek 3-3: Programování kolaborativního robota [13]

Další klíčový rozdíl je, že coboty lze snadno naprogramovat. Zatímco tradiční roboty vyžadují pokročilé znalosti a zkušenosti v oblasti programování, coboty jsou schopné se učit. K naprogramování stačí, aby dělník prováděl požadované pohyby s ramenem cobota a ten si tyto pohyby zapamatuje a následně je bude po spuštění vykonávat.

3.2 Výhody, nevýhody a využití

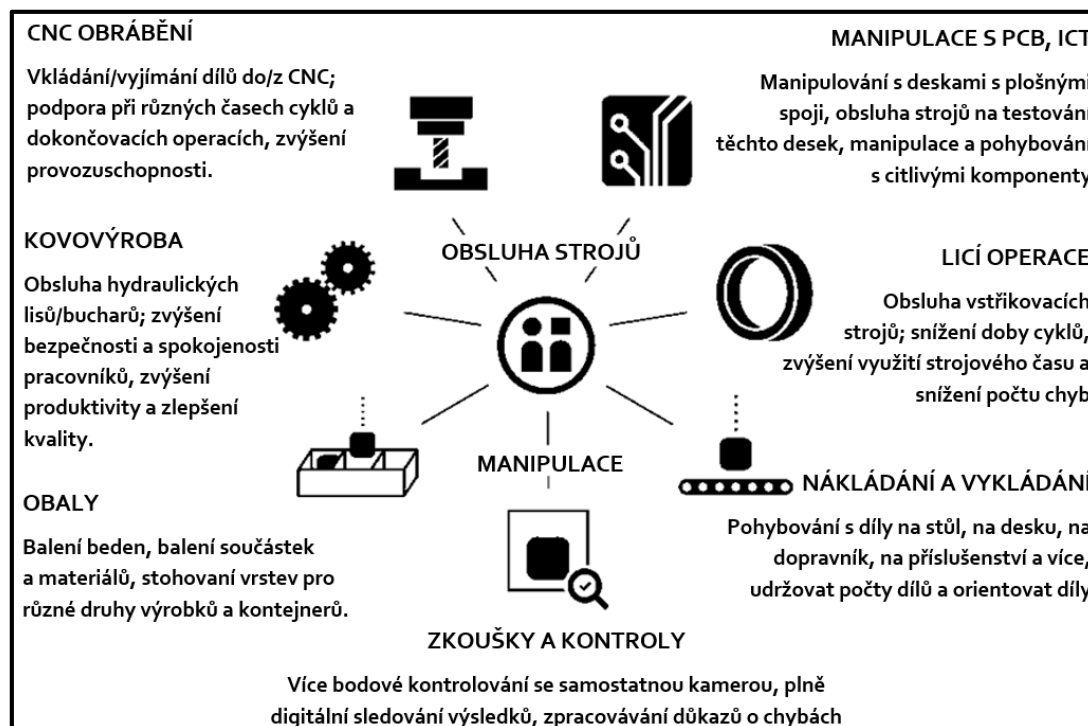
Na základě zjištěných teoretických a praktických informací byla vytvořena následující tabulka, která uvádí výhody a nevýhody cobotů oproti tradičním průmyslovým robotům.

Tabulka 1: Výhody a nevýhody cobotů

Výhody	Nevýhody
jednodušší programování	relativně vysoká základní cena
jednodušší ovládání a práce s robotem	pro maximální využití potenciálu, nutno dokoupit poměrně drahé komponenty a příslušenství
jednodušší a levnější údržby a opravy	menší odolnost a tuhost zařízení
zpomalení či zastavení po kontaktu s člověkem	reálné využití na níže uvedené aplikace je zatím pouze 10% oproti PR
odpadá nutnost použití ochranných klecí a krytů	přísná a zatím nepřilíš přesná a jasná legislativa pro tento typ robotů
možno využít kamery a senzory pro detekci lidí	
relativně menší rozměry	
vyšší flexibilita použití z dlouhodobého hlediska	
nehrozí přetížení robota (senzory odporu, tlaku, nadproudu)	
algoritmy v reálním čase nastavující bezkolizní dráhy	
možnost zakoupit další příslušenství	

Využití

Hlavní aplikace, na které lze kolaborativní roboty uplatnit zobrazuje následující obrázek.



Obrázek 3-4: Vhodné aplikace pro využití kolaborativní roboty [31]

Další aplikace, které mohou některé coboty vykonávat jsou:

- Laboratorní analýzy
- Šroubování
- Lepení, dávkování a svařování
- Leštění
- Montáž součástek
- Obrábění kovů
- Třídění
- Převod mezi pracovišti

3.3 Parametry cobotů

Parametry cobotů jsou velice důležitými informacemi, které jsou rozhodující při výběru cobota a pro jeho užívání na určitém pracovišti. Některé z nich však nejsou v katalozích firem dostupné, a pro jejich získání je nutné firmu kontaktovat. V rámci této kapitoly bylo provedeno rozdělení parametrů na základní a vedlejší. Do základních parametrů, které jsou vhodné pro rychlé srovnání více typů cobotů, byly zařazeny parametry, které velká většina výrobců v katalozích poskytuje. Do vedlejších parametrů byly zařazeny ty, které nejsou všemi výrobci volně na webu poskytovány.

Základní parametry

- **Počet os (Number of axis, Controlled axis)**
Ve většině případů je to počet os, které jsou řízené programem. Někdy se udává zvlášť počet os a počet řízených os. Některé coboty mají tento počet odlišný, neboť některé osy nejsou řízené. Osa odpovídá počtu kloubů. Nejčastěji se vyrábějí šesti kloubové, tedy šestiosé roboty.
- **Užitečné zatížení (Payload)**
Je v podstatě maximální váha, kterou snese konstrukce robota - jednotlivé osy. Někdy je toto zatížení robota odlišné než zatížení možných efektorů (zápěstí), které je většinou nižší. Někdy je uváděno pouze maximální zatížení nebo maximální zatížení na zápěstí cobota. Udává se v kilogramech.
- **Dosah (Reach)**
Dosah se většinou udává v milimetrech a je to maximální vzdálenost, ve které může cobot pracovat. Ne u všech výrobců je ale tato vzdálenost definována stejně. Jedná se spíše o orientační parametr pro uživatele a v případě zájmu o koupi cobota je vhodné kontaktovat daného výrobce, aby poskytl přesné informace o tom, jak je dosah přesně definován. Dosah je totiž závislý na konstrukčním řešení robota. Dosah se udává ve stupních či v radiánech.
- **Hmotnost (Mass)**
Je celková hmotnost robota bez zatížení břemenem. Někdy se označuje jako mechanická váha nebo jen váha. Je udávána v kilogramech.

- **Rychlost**

Je rychlost s jakou je cobot schopen pracovat. Je udávaná většinou v mm/s, nebo v °/s (rad/s) přičemž je někdy stanovena pro každé rameno (kloub, osu) zvlášť.

Vedlejší parametry

- **Opakovatelnost**

Tento parametr udává s jakou přesností je cobot schopen vrátit se několikrát zpět do stejné polohy. Udává se jako tolerance v mm. Tento parametr se pro představu pohybuje v rádech setin milimetrů (např. 0,05mm).

- **Cena**

Pořizovací cena je základní cena cobota bez nástroje. Je závislá na dodavateli, oblasti distribuce, věrnostní či množstevní slevě aj. Někteří výrobci do základní ceny zahrnují i software, aktualizace softwaru, touchpad nebo stojan. Jedná se tedy pouze o řádovou cenu, která se po nakoupení nástroje a dalších dílčích komponent (senzory, kamery, čidla) může výrazně lišit.

- **Krouticí moment**

Někdy označován také jako přístupný moment, je maximální moment, při kterém může cobot pracovat. Někteří výrobci udávají tento moment na každé ose.

- **Moment setrvačnosti**

Je maximální moment setrvačnosti, při kterém může cobot stabilně pracovat. Někteří výrobci udávají moment setrvačnosti na každé ose.

- **Rozměry**

Rozměry představují délky, šířky, tloušťky a průměry jednotlivých dílčích komponent cobota včetně jeho celkové velikosti. Rozměry jsou udávány zpravidla v milimetrech.

- **Stupně volnosti**

Někteří výrobci udávají počet stupňů volnosti daného cobota, což v podstatě znamená v kolika směrech se části cobota mohou nezávisle na sobě pohybovat (otáčení, posuv). Stupně volnosti pak určují stav systému (cobota).

- **Maximální síla/tlak pro zastavení cobota při kolizi**

Jedná se o maximální přitlačnou sílu či tlak vyvozený cobotem, při které se cobot zastaví nebo vypne. Tato síla či tlak je u většiny cobotů pro člověka bezpečná. Síla je udávána v N a tlak v Pa.

- **Bezpečnost**

Oproti tradičním průmyslovým robotům mohou coboty pracovat s nástroji, na které lze umístit další prvky, jako jsou detekční senzory, čidla, kamery, či tepelné kamery a další. Cílem těchto prvků je maximální bezpečnost, přesnost a samostatnost cobota při práci.

- **Jiné**

Do této kategorie byly zahrnuty parametry, které jsou udávány výrobci velmi zřídka a jsou definovány velmi proměnlivě. Patří sem teplota a vlhkost, ve které stroje mohou pracovat, technické parametry (výkon, příkon) materiál a specifikace kontroléru (hluk, napájecí zdroj, typ komunikace, délka kabelu atd.), paměť, programová podpora, řídicí systém aj.

Aby bylo možné splnit zadání této práce, je nutné najít vhodného cobota pro zatím neznámé pracoviště. Proto bude provedena analýza všech na trhu dostupných cobotů pro celkový přehled.

3.4 Výrobci cobotů

V této kapitole jsou představeni výrobci cobotů skrze celosvětový trh a označení jednotlivých typů cobotů, které vyrábějí.

Mezi přední výrobce robotů se řadí firma Fanuc s 400 tisíci instalovanými roboty po celém světě k roku 2015 a firmy Yaskawa a ABB Robotics s 300 tisíci instalovanými roboty. Existuje však mnoho dalších prosperujících firem zabývajících se výrobou robotů (viz *Tabulka 2*). Počet vyrobených a instalovaných cobotů je však podstatně menší, neboť dle odborníků z firmy Fanuc se objem prodeje cobotů pohybuje kolem 5% z celkového prodeje všech robotů. Ten však v následujících letech rapidně poroste.

Pozn.: Výrobci většinou provádí pouze výrobu robotů. Samotnou implementaci (integraci) robota na pracoviště a servis robota provádí integrátor (jiná externí firma), který s výrobcem spolupracuje.















Tabulka 2: Přehled výrobců a typů cobotů












VÝROBCE	Typ	VÝROBCE	Typ
ABB	YuMi	MABI Robotics	Speedy 6
	Roberta		Speedy 12
Bionic Robotics	BioRob	MRK Systeme	KR 5 SI
BOSCH	APAS	Precise Automation	PAVP6
Fanuc	CR-35iA		PF400
	CR-4iA		PP 100
	CR-7iA		Sawyer
	CR-7iA/L	Baxter	
F&P Personal	P-ROB 2R	Universal Robots	UR3
Kawada industries	NEXTAGE		UR5
Kawasaki	duAro		UR10
KUKA	IIWA - 7R 800	Yaskawa	Motoman HC 10
	IIWA -14R 820		

3.5 Analýza trhu vyráběných cobotů

V následující tabulce je představen přehled aktuálně vyráběných cobotů napříč celosvětovým trhem. V tabulce jsou u každého typu uvedeny základní parametry, cílené aplikace tj. pro jaké operace je cobot vhodný a jaké lze na cobota nainstalovat vidění a senzory. Tabulka byla vytvořena, upravena a přeložena podle zdroje [5].

Tabulka 3: Přehled dostupných cobotů na trhu – upraveno dle [5]

Výrobce	Obrázek	Počet os	Užitečné zatížení	Dosah	Hmotnost	Rychlost	Cílené aplikace	Vidění a senzory
ABB Yumi		2 x 7 mi osá paže	0,5 kg (1,1 lbs) jedné paže	500 mm (19,7 in)	38 kg (83,6 lbs)	1,5 mm/s (59 in/s)	montáž součástek, počítače, komunikace a spotřební elektronika, hodinářský průmysl	volitelný koncový efektor a kamerový systém
ABB Roberta		6 ti osá paže	8 kg (17,6 lbs)	800 mm (31,5 in)	19,5 kg (42,9 lbs)	110°/s	kontrola, mobilní platformy Human, spolupráce se stroji	Nezávislé silové senzory v každé špičce prstu, senzor síly kroučícího momentu
BionicRobotics Biorob		4-5 ti osá paže s elastickým kloubem A1-A4	0,8 kg (1,8 lbs) jmenovité zatížení 0,5 kg (1,1 lbs) kooperativní operace	956 mm (37,6 in)	6 kg (13,2 lbs) včetně řízení, pohybové paže z ramene pouze 2 kg (4,4 lbs)	130°/s (A1), 80°/s (A2), 90°/s (A3-A4), 330°/s (A5), U koncové konektoru do 133 m/s	paletizace, obsluha strojů, testování výrobků, laboratorní automatizace	společné snímání točivého momentu s použitím průřezného kloubu v A1-A4
BOSCH APAS		6 ti osá paže	2 kg (4,4 lbs)	911 mm (35,9 in)	230 kg (506 lbs)	Paže: 0,5m/s (19,7 in/s)	obluha strojů, shromažďování, balení výrobků, manipulace s výrobky, procesní aplikace	2D jednobarevná přehledová kamera, 3D kalibrované stereo kamery, senzor bezdotykového
Fanuc CR - 35iA		6 ti osá paže	35 kg (77 lbs)	1 813 mm (71,4 in)	990 kg (1584 lbs)	250 mm/s, pokud je pracovní prostor monitorován bezpečnostními senzory: 750 mm/s	automobilový průmysl, třídění obalů, obrábění kovů	vnější kryt pro monitorování nárazů, tlačítko pro rychlý restart (autoresume), integrované vidění
Fanuc CR - 4iA		6 ti osá paže	4 kg (8,8 lbs)	550 mm (21,7 in)	48 kg (76,8 lbs)	500 mm/s, pokud je pracovní prostor monitorován bezpečnostními senzory: 1000 mm/s	automobilový průmysl, třídění obalů, obrábění kovů, montážní operace, práce na linkách	vnější kryt pro monitorování nárazů, tlačítko pro rychlý restart (autoresume), integrované vidění
Fanuc CR - 7iA		6 ti osá paže	7 kg (15,4 lbs)	717 mm (28,2 in)	53 kg (84,8 lbs)	500 mm/s, pokud je pracovní prostor monitorován bezpečnostními senzory: 1000 mm/s	automobilový průmysl, třídění obalů, obrábění kovů, montážní operace, práce na linkách	vnější kryt pro monitorování nárazů, tlačítko pro rychlý restart (autoresume), integrované vidění
Fanuc CR - 7iA/L		6 ti osá paže	7 kg (15,4 lbs)	911 mm (35,9 in)	55 kg (88 lbs)	500 mm/s, pokud je pracovní prostor monitorován bezpečnostními senzory: 1000 mm/s	automobilový průmysl, třídění obalů, obrábění kovů, montážní operace, práce na linkách	vnější kryt pro monitorování nárazů, tlačítko pro rychlý restart (autoresume), integrované vidění
F&P Personal Robotics P-ROB 2R		6 ti osá paže	3 kg (6,6 lbs) 2 kg (4,4 lbs) pokud je P-Grip	775 mm (30,5 in)	20 kg (32 lbs)	100 až 160°/s dle kloubu	Pick and Place aplikace, shromažďování, obsluha strojů	Konečky prstů lze volitelně vybavit dle úkolu specifickými senzory, či kamerou
Kawada Industries NEXTAGE		2 x 6 ti osá paže, 2 osy pro krk a 1 pro zápěstí	1,5 kg (3,3 lbs) jedné paže 3kg obou paží	N/A	130 kg (286,6 lbs)	110°/s až 300°/s dle kloubu	Pick and Place aplikace, shromažďování, testování kvality,	Integrované stereo vidění, ruční kamery, LED lampa, v každé pači ruční kamera
Kawasaki duAro		2 x 6 ti osá paže	2 kg (4,4 lbs) jedné paže	N/A	200 kg (440,9 lbs)	N/A	Montáž, manipulace s materiálem, obsluha strojů, výdej (rozdělování)	Barevná nebo černobílá kamera, stropní svítidla, 2D vision systém
KUKA LBR IIWA - 7 R 800		7 mi osá paže	7 kg (15,4 lbs)	911 mm (35,9 in)	22,3 kg (49,2 lbs)	90°/s až 180°/s dle kloubu	obsluha strojů, Pick and Place aplikace aplikační proces, shromažďování, balení	Integrované senzory točivého momentu a polohy v každém kloubu
KUKA LBR IIWA - 14 R 820		7 mi osá paže	14 kg (30,8 lbs)	931 mm (36,7 in)	29,5 kg (65,0 lbs)	70°/s až 180°/s dle kloubu	obsluha strojů, Pick and Place aplikace aplikační proces, shromažďování, balení	Integrované senzory točivého momentu a polohy v každém kloubu
MABI Speedy 6		6 ti osá paže	6 kg (13,2 lbs)	800 mm (31,5 in)	28 kg (61,6 lbs)	145°/s až 275°/s dle kloubu	doplňování výrobků do stroje, shromažďování, řízení/ovládání	integrovaný senzor kroučícího momentu

MABI		6 ti osá paže	12 kg (26,5 lbs)	1250 mm (49,2 in)	35 kg (77 lbs)	75°/s až 275°/s dle kloubu	doplňování výrobků do stroje, shromažďování, řízení/ovládání	integrováný senzor kroučícího momentu
Speedy 12								
MRK Systeme		6 ti osá paže	5 kg (11 lbs)	1 423 mm (56 in)	127 kg (279 lbs)	N/A	obsluha strojů, Pick and Place aplikace	židlo bezdotykového spouštění na vnějším plášti
KR 5 SI								
Precise Automation		6 ti osá paže	2 kg (4,4 lbs)	432 mm (17 in)	28 kg (61 lbs)	Max. zrychlení se zatížením 2 kg: 600 mm/sec ²	Stolní aplikace	Web(sít) založena na rozhraní operátora
PAVP6								
Precise Automation		4 osy SCARA	0,5 kg (1,1 lbs)	576 mm (22,7 in) Prodloužená verze: 731 mm (28,8 in)	20 kg (44,1 lbs)	Koncového efektoru: 1 m/s (39,4 in/s)	Laboratorní práce, shromažďování	Zabudovaná kamera vedná řízením pohybu
PF400								
Precise Automation		3 kartézské osy	1 kg (2,2 lbs)	X: 635 mm (25 in), Y: 300 mm (11,8 in), Z: 225 mm (8,8 in)	20 kg (44,1 lbs)	1,5 m/s (59 in/s)	manipulace s materiálem v 1 ose	Zabudovaná kamera vedná řízením pohybu
PP 100								
Rethink Robotics		7 mi osá paže	4 kg (8,8 lbs)	1260 mm (49,6 in)	19 kg (42 lbs)	1 m/s bez zatížení 0,6 m/s se zatížením	obsluha strojů, Testování el. obvodových desek, manipulace s materiálem	jedna integrovaná kamera na paži, přední kamera pro detekci lidí, integrované senzory
Sawyer								
Rethink Robotics		2 x 7 mi osá paže	2,3 kg (5 lbs) (včetně chapadla)	1041,4 mm (41 in)	75 kg (165 lbs) bez volitelného podstavce	Koncového efektoru: 1 m/s (39,4 in/s)	Balení, Pick and Place aplikace, aplikační proces, kitting (trídění)	jedna integrovaná kamera na každé paži, přední kamera pro detekci lidí, integrované senzory
Baxter								
Universal Robots		6 ti osá paže	3 kg (6,6 lbs)	500 mm (19,7 in)	11 kg (24,3 lbs)	Koncového efektoru: 1 m/s (39,4 in/s)	Pájení, lepení, šroubování, Pick and Place aplikace, obsluha ručních nářadí	zastavení ramena při detekci přetížení (nadpruhu) stejně tak při kolizi
UR3								
Universal Robots		6 ti osá paže	5 kg (11 lbs)	850 mm (33,5 in)	18,4 kg (40,6 lbs)	Koncového efektoru: 1 m/s (39,4 in/s)	obsluha strojů, Pick and Place aplikace, aplikační proces, shromažďování, balení	zastavení ramena při detekci přetížení (nadpruhu) stejně tak při kolizi
UR5								
Universal Robots		6 ti osá paže	10 kg (22 lbs)	1 300 mm (51,2 in)	28,9 kg (63,7 lbs)	Koncového efektoru: 1 m/s (39,4 in/s)	obsluha strojů, Pick and Place aplikace, aplikační proces, shromažďování, balení	zastavení ramena při detekci přetížení (nadpruhu) stejně tak při kolizi
UR10								
Yaskawa		6 ti osá paže	10 kg (22 lbs)	1 200 mm (47,3 in)	45 kg (99,2 lbs)	130°/s až 180°/s dle kloubu	obsluha výrobních strojů, montáž a manipulace s drobnými díly, převod mezi různými pracovišti	Snímač síly a momentu v každé ose
Motoman HC 10								

Je zřejmé, že cobotů je celá řada a díky rychlému vývoji v této oblasti, další druhy v budoucnosti přibudou. Výše uvedený aktuální přehled bude v kapitole 6.1 sloužit pro výběr vhodného cobota, a to na základě určitých kritérií. Jelikož jsou coboty novým trendem v oblasti robotiky, legislativa, která definuje jejich bezpečnou implementaci a používání, je zatím nepříliš jasná a pro mnoho firem představuje problémy, neboť snahou firem je dosahovat nejvyšší možné bezpečnosti v provozu pro odstranění pracovních úrazů apod. Touto problematikou se podrobněji zabývá kapitola *ANALÝZA POŽADAVKŮ BEZPEČNOSTI*.

3.6 Nástroje – efektor

Každý robot, a tedy i cobot, potřebuje pro vykonávání nějaké operace určitý nástroj, tzv. efektor (chapadla, montážní nástroje, rozprašovací nástavce, svařovací kleště atd.). Těch je však velká řada a smyslem zde není provést analýzu trhu v oblasti nástrojů. Důležitým faktem je, že lze na cobot nasadit téměř každý efektor. Ty jsou ve většině případů konstruovány podle normy tak, aby byly kompatibilními s koncovými osami cobotů, jež jsou též konstruovány dle normy. Libovolný efektor pak lze použít na libovolný cobota. Součástí nástrojů cobotů mohou být

integrovaná čidla, senzory a dokonce i kamery pro bezpečnou a přesnou práci. Jako jednoduchý nástroj je představeno chapadlo RG2 od firmy Universal Robots, které je vhodné především pro montáž, testování, obrábění a jiné operace v automobilovém, farmaceutickém či stavebním průmyslu. Chapadlo nepotřebuje žádné externí kabely a je schopno měřit šířku objektu a zjistit, zda má být objekt uchopen, či nikoliv.



Obrázek 3-5: Chapadlo RG2 od firmy Universal Robots [38]

Mezi universální nástroje patří např. chapadlo Co-act JL1 od firmy Schunk (viz *Obrázek 3-6*). Chapadlo má dvě čelisti s dotykovými senzory se schopností optické zpětné vazby. Součástí chapadla je i kamera, dotyková obrazovka a kapacitní snímač. Cena tohoto chapadla je kolem 30 000 Euro a je zkonstruováno dle technické specifikace ISO/TS 15066.



Obrázek 3-6: Chapadlo Co-act JL1 od firmy Schunk [39]

V případě, že nástroj není s koncovou osou cobota kompatibilní, používá se v praxi tzv. adapter flange, nebo adapter plate. Jedná se o přírubu či desku, která plní funkci mezičlenu, který si provozovatelé cobota upraví dle potřeby tak, aby bylo možné nástroj na cobot umístit. Cena mezičlenu závisí na velikosti a materiálu a pohybuje se okolo 50 Euro za kus.



- Koncová osa cobota
- Mezi člen – adapter flange
- Efektor – přísavkové chapadlo

Obrázek 3-7: Použití mezičlenu v praxi [40]

4 ANALÝZA POŽADAVKŮ BEZPEČNOSTI

Protože je cílem práce navrhnout vhodného cobota k implementaci na pracoviště, je třeba získat potřebné informace o bezpečnostních požadavcích, které jsou na něj kladené, a které jsou stanoveny určitými předpisy. Ačkoliv je cobot konstruován a jeho maximální potenciál bude využit pouze tak, aby pracoval po boku lidí v přímém kontaktu, bylo nutné najít příslušný předpis, který stanovuje pravidla, která to umožňují. Předpisem se myslí směrnice, zákony, vyhlášky, normy apod. Z velké části je tato kapitola právě zaměřena na analýzu předpisů, za účelem zjištění, co je a není schválené, a jaká jsou omezení a pravidla při práci cobota s člověkem v rámci bezpečnosti. Pokud chce jakákoliv firma pořídit nějaká nová zařízení či stroj do výroby, hlavním požadavkem je splnění bezpečnosti při práci s tímto zařízením či strojem, a to podle příslušné legislativy. Legislativa v České republice je od ostatních zemí velice přísná a existuje celá řada podrobných předpisů stanovujících věci týkající se bezpečnosti. Protože cobot je zařízením, je v této kapitole provedena analýza předpisů strojů a strojních zařízení.

Tato kapitola je rozdělena do čtyř částí. V první části jsou obecně definovány technické normy. V druhé části jsou dále představeny důležité předpisy týkající se strojních zařízení, strojů, požadavků na bezpečný provoz, požadavků na výrobky atd. Ve třetí části jsou představeny normy týkající se průmyslových robotů a cobotů. V poslední části je shrnuto, s jakými legislativními problémy se lze při implementaci cobota setkat a jakým způsobem je možné tyto problémy případně řešit.

4.1 Technické normy strojů a zařízení

Technická norma (dále jen norma) je vyjádřením požadavků na to, aby byl výrobek, proces či služba za specifických podmínek vhodná pro daný účel. Norma stanovuje základní požadavky na kvalitu, bezpečnost, slučitelnost, zaměnitelnost, ochranu zdraví a životního prostředí. Usnadňuje volný pohyb zboží v mezinárodním obchodu, snaží se, aby výroba byla racionální, aby se ochrana životního prostředí a konkurenceschopnost vzájemně podporovaly, aby na vnitřním trhu byli spotřebitelé dostatečně chráněni. Norma je veřejně dostupný dokument – to znamená, že je přístupná ve všech fázích vzniku a používání v praxi. Je to dokument založený na souhlasu všech zúčastněných stran se zásadními otázkami řešení. Tím se norma liší od právních předpisů, které mohou vznikat bez projednání a souhlasu všech, jichž se týkají. Druhy norem se liší podle obsahu, který je určující pro účel jejich použití (terminologické, základní, zkušební, normy výrobků, bezpečnostní předpisy, normy postupů/služeb, řízení jakosti, rozhraní, zaměnitelnosti. [36]

Technické normy lze obecně rozdělit na české technické normy a na evropské či mezinárodní normy.

- Každá původní česká technická norma, která se může vytvářet pouze v oblastech, ve kterých neexistují normy evropské nebo mezinárodní musí mít značku ČSN (např. ČSN 22 2766).

- Evropské či mezinárodní normy, které jsou přejaty do soustavy českých norem, se stávají normami českými. Tyto normy jsou tvořeny značkou české technické normy a značku přejímané normy (např. ČSN EN, ČSN ISO, ČSN EN ISO, ČSN IEC, ČSN ETS).
[36]

4.2 Důležité předpisy týkající se strojů a strojních zařízení

V této části jsou představeny předpisy týkající se strojů a strojních zařízení důležité pro výrobce a provozovatele. U některých z nich budou vypsány důležité informace mající spojitost s roboty a coboty.

Legislativní rámec, od kterého se vše pro VÝROBCE strojního zařízení odvíjí.

- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/42/ES ze dne 17. května 2006 o strojních zařízeních a o změně směrnice 95/16/ES (přepracované znění).
- Nařízení č. 176/2008 Sb. o technických požadavcích na strojní zařízení.
- Zákon č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů.
- Nařízení vlády č. 117/2016 Sb. o posuzování shody výrobků z hlediska elektromagnetické kompatibility při jejich dodávání na trh.
- Nařízení vlády č. 118/2016 Sb. o posuzování shody elektrických zařízení pro používání v určitých mezích napětí při jejich dodávání na trh.

Pro provozovatele strojních zařízení platí navíc následující bod.

- Nařízení vlády č. 378/2001 Sb. (Nařízení vlády, kterým se stanoví bližší požadavky na bezpečný provoz a používání strojů, technických zařízení, přístrojů a nářadí)

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/42/ES ze dne 17. května 2006 o strojních zařízeních a o změně směrnice 95/16/ES (přepracované znění)

Tato směrnice definuje pouze obecné základní požadavky na ochranu zdraví a na bezpečnost, doplněné řadou zvláštních požadavků pro určité kategorie strojních zařízení.

Směrnice také řadí průmyslové roboty mezi strojní zařízení následujícími definicemi:

- soubor, který je vybaven nebo má být vybaven poháněcím systémem, který nepoužívá přímo vynaloženou lidskou nebo zvířecí sílu, sestavený z částí nebo součástí, z nichž alespoň jedna je pohyblivá, vzájemně spojených za účelem přesně stanoveného použití;
- soubor uvedený v první odrážce, kterému chybí pouze ty součásti, které jej spojují s místem použití nebo se zdroji energie či pohybu;
- soubor uvedený v první nebo druhé odrážce, který je připraven k instalaci a je schopen fungovat až po namontování na dopravní prostředek nebo po instalaci v budově nebo na konstrukci;
- soubor spojených částí nebo součástí, z nichž alespoň jedna je pohyblivá, které jsou vzájemně spojeny za účelem zvedání břemen a jejichž jediným zdrojem energie je přímo vynaložená lidská síla
[6]

Nařízení vlády č. 378/2001 Sb. kterým se stanoví bližší požadavky na bezpečný provoz a používání strojů, technických zařízení, přístrojů a nářadí

V tomto nařízení je klíčový § 3, ve kterých je uvedeno, že se pro bezpečný provoz a používání strojů, technických zařízení, přístrojů a nářadí musí použít vhodné ochranné zařízení a zabezpečení před ohrožením života a poškozením zdraví tak, aby **chránilo** zaměstnance zejména před možným poškozením zdraví zaměstnance způsobeným zachycením **pohybující** se části zařízení. [8]

Nařízení č. 176/2008 Sb. o technických požadavcích na strojní zařízení

Toto nařízení vlády převzalo a do české legislativy implementuje směrnici Evropské unie č. 2006/42/ES. Viz výše.

Toto nařízení zpracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje technické požadavky na:

- a) strojní zařízení;
- b) vyměnitelná přídatná zařízení;
- c) bezpečnostní součásti;
- d) příslušenství pro zdvihání;
- e) řetězy, lana a popruhy;
- f) odnímatelná mechanická převodová zařízení;
- g) neúplná strojní zařízení.

[11]

Zákon č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů

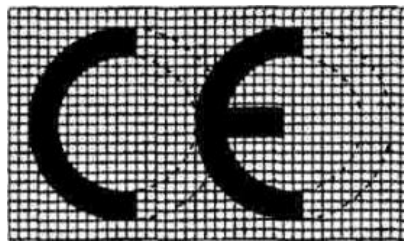
Tento zákon upravuje:

- a) způsob stanovování technických požadavků na výrobky, které by mohly ve zvýšené míře ohrozit zdraví nebo bezpečnost osob, majetek nebo životní prostředí, popřípadě jiný veřejný zájem, (dále jen "oprávněný zájem");
- b) práva a povinnosti osob, které uvádějí na trh nebo distribuují, popřípadě uvádějí do provozu výrobky, které by mohly ve zvýšené míře ohrozit oprávněný zájem; tímto nejsou dotčena ustanovení zvláštních právních předpisů pro provoz výrobků, 1);
- c) práva a povinnosti osob pověřených k činnostem podle tohoto zákona, které souvisí s tvorbou a uplatňováním českých technických norem nebo se státním zkušebnictvím;
- d) způsob zajištění informačních povinností souvisejících s tvorbou technických předpisů a technických norem, vyplývajících z mezinárodních smluv a požadavků práva Evropských společenství.

[7]

V těchto předpisech se hovoří také o podmínkách uvádění výrobků, strojního zařízení apod. na trh nebo do provozu výrobcem, a aby splňovalo příslušné základní požadavky na bezpečnost.

Každý produkt, který chce člověk vytvořit a uvést na trh, musí mít prohlášení o shodě. Prohlášení o shodě je dokument, kterým výrobce dokladuje, že správně posoudil shodu výrobku s požadavky příslušných nařízení vlády. Výrobce vydává ES prohlášení o shodě (CE Conformity Declaration) na základě posouzení daného výrobku s požadavky konkrétního nařízení vlády – NV (direktivy). U výrobků dovážených z oblasti mimo EU vydává ES prohlášení o shodě zplnomocněný zástupce výrobce se sídlem v EU nebo dovozce nebo ten, kdo uvedl výrobek naposledy na trh EU. Kromě vystavení prohlášení o shodě je také požadováno označit výrobek značkou CE (viz *Obrázek 4-1*), popř. značkou CE s uvedením čísla notifikované osoby, která posouzení shody provedla – u vybraných nařízení vlády. [22]



Obrázek 4-1 Značka pro označení shody [6]

4.3 Technické normy týkající se robotů a cobotů

Snahou bylo najít v legislativních předpisech bližší informace, které by jakýmkoliv způsobem definovaly bližší informace o cobotech. Nejdůležitější normy týkající se robotů a robotických zařízení.

- ČSN EN ISO 8373: Roboty a robotická zařízení - Slovník
- ČSN EN ISO 10218-1: Roboty a robotická zařízení - Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 1 Roboty
- ČSN EN ISO 10218-2: Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 2: Systémy robotů a integrace
- ČSN EN ISO 9946: Manipulační průmyslové roboty - Uvádění charakteristických vlastností
- ČSN EN ISO 9787: Manipulační průmyslové roboty - Souřadnicové systémy a terminologie pohybů
- ČSN EN ISO 14539: Manipulační průmyslové roboty - Manipulace s předměty pomocí uchopovacích modulů svíracího typu - Slovník a uvádění charakteristických vlastností
- ČSN EN ISO 9409-1: Manipulační průmyslové roboty - Mechanická rozhraní - Část 1: Lící desky
- ČSN 9409-2: Manipulační průmyslové roboty - Mechanická rozhraní - Část 2: Hřídele
- ČSN EN ISO 12100:2011 - Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika
- ČSN EN 60204-1 ed.2 + A1, Opr.1 - Bezpečnost strojních zařízení – Elektrická zařízení strojů – Část 1: Všeobecné požadavky
- ČSN EN ISO 13849-1:2016 - Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci
- ČSN EN ISO 13849-2:2013 - Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 2: Ověřování platnosti
- ČSN EN 1037+A1:2008 - Bezpečnost strojních zařízení – Zamezení neočekávanému spuštění
- ČSN EN ISO 13850:2016 - Bezpečnost strojních zařízení – Nouzové zastavení – Zásady pro konstrukci
- ČSN EN ISO 13857:2008 + Opr.1:2010 - Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu k nebezpečným místům horními a dolními končetinami
- ČSN EN 349+A1:2008 - Bezpečnost strojních zařízení – Nejmenší mezery k zamezení stlačení částí lidského těla
- ČSN EN ISO 14120:2016 - Bezpečnost strojních zařízení – Ochranné kryty – Všeobecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů

- ČSN EN ISO 13855:2010 - *Bezpečnost strojních zařízení – Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlostí přiblížení částí lidského těla*
- ČSN EN ISO 14119:2014 - *Bezpečnost strojních zařízení – Blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty – Zásady pro konstrukci a volbu*
- ČSN EN 61000-6-2 ed.3:2006 - *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 6-2: Kmenové normy – Odolnost pro průmyslové prostředí*
- ČSN EN 61000-6-4 ed.2:2007+A1:2011 - *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 6- 4: Kmenové normy – Emise – Průmyslové prostředí*
- ČSN EN ISO 4414:2011 - *Pneumatika – Všeobecná pravidla a bezpečnostní požadavky na pneumatické systémy a jejich součásti*

Pozornost byla věnována normám ČSN EN ISO 10218-1 a ČSN EN ISO 10218-2, neboť analýza ostatních norem je mimo rámec této práce. Doposud se v práci velmi často objevoval termín průmyslový robot a cobot, pro který neexistuje žádná norma, neboť je to pouze slangový výraz pro spolupracujícího robota (collaborative robot). Pojem spolupracující robot, je však zařazen do kategorie průmyslových robotů a dále definován díky těmto normám.

▪ Norma ČSN EN ISO 10218-1

Tato norma specifikuje požadavky a směrnice pro základní bezpečnou konstrukci, ochranná opatření a informace pro použití průmyslových robotů. Popisuje základní nebezpečí spojená s roboty a poskytuje požadavky k jejich eliminaci nebo přiměřené omezení rizik spojených s těmito nebezpečími. [9]

Průmyslový robot je dle této normy definován jako automaticky ovládaný, reprogramovatelný víceúčelový manipulátor, programovatelný ve třech nebo více osách, který může být buď pevný, nebo mobilní, určený k použití v průmyslové automatizaci.

Poznámka 1: Průmyslový robot zahrnuje:

- manipulátor, včetně ovladačů;
- ovladač včetně ručního programovacího panelu a jakéhokoliv komunikačního rozhraní (hardware a software).

Poznámka 2: To zahrnuje veškeré integrované přídavné osy.

Poznámka 3: Následující zařízení jsou považována za průmyslové roboty pro účely této části ISO 10218:

- ručně vedené roboty;
- manipulační části robotů;
- **spolupracující roboty.**

[9]

Dále je touto normou definován pojem **provozní spolupráce**, což je stav, ve kterém se účelově zkonstruované roboty pracují v přímé součinnosti s člověkem uvnitř stanoveného pracovního prostoru. [9]

V normě je uveden seznam nebezpečí (mechanických, elektrických tepelných a dalších) a příklad nebezpečí v tabulce. Tato tabulka byla přepracována do tabulky níže pouze pro některá mechanická nebezpečí jako příklad.

Tabulka 4: Seznam významných nebezpečí – vytvořeno dle [9]

	Příklad nebezpečí	
	Původ	Potenciální následky
Mechanická nebezpečí	<ul style="list-style-type: none">▪ Pohyby (běžné nebo neočekávané) jakéhokoliv části ramena robota (včetně zadní strany)▪ Pohyby koncového efektoru nebo jakéhokoliv pohyblivé části buňky robota▪ Pohyby vnějších os▪ Nechtěný pohyb stroje nebo části buňky robota během manipulačních operací▪ Pohyb nebo rotace ostrého nástroje na koncovém efektoru▪ Pohyb částí robota▪ Rotační pohyb jakéhokoliv osy robota▪ Manipulace s výrobky a materiály	<ul style="list-style-type: none">▪ Stlačení▪ Stříh▪ Pořezání nebo uříznutí▪ Navinutí▪ Vtažení nebo zachycení▪ Náraz▪ Bodnutí▪ Propíchnutí▪ Tření, odření▪ Vysokotlaký výron

Dle [9] musí být provedena analýza nebezpečí pro identifikaci jakýchkoliv nebezpečí, která se mohou vyskytovat. Posouzení rizika musí být provedeno u těch nebezpečí, která byla identifikována v identifikaci nebezpečí.

Posouzení rizika musí vzít v úvahu zvláště v níže uvedených bodech.

- a) Zamýšlené operace robota, včetně učení, údržby, seřizování a čištění.
- b) Neočekávané spuštění
- c) Přístup osob ze všech směrů
- d) Rozumně předvídatelné chybné užití robota
- e) Poruchu v ovládacím systému tam, kde je to nezbytné, nebezpečí spojená se specifickou aplikací robota

Rizika musí být eliminována nebo snížena zaprvé konstrukcí nebo její změnou, následně bezpečnostní ochranou a dalšími doplňujícími opatřeními. Jakákoliv zbytková rizika pak musí být snížena dalšími opatřeními (např. varováním, značkami, školením) [9]

▪ **Norma ČSN EN ISO 10218-2**

Předmětem této normy je specifikovat bezpečnostní požadavky na integraci průmyslových robotů a průmyslových systémů robotu tak, jak je definováno v ISO 10218-1 a průmyslové buňky (buněk) robotu.

Integrace zahrnuje níže uvedená kritéria:

- a) Konstrukci, výrobu, instalaci, provoz, údržbu atd.
- b) Nezbytné informace pro konstrukci, výrobu, instalaci, provoz, údržbu atd.
- c) Součásti zařízení průmyslového systému robotu nebo buňky

[10]

Tato norma dále definuje:

Spolupracující robot (collaborative robot) je robot navržený pro přímou spolupráci s člověkem uvnitř určeného pracovního prostoru spolupráce. [10]

Pracovní prostor spolupráce (collaborative workspace) je prostor uvnitř zabezpečeného prostoru, kde robot a člověk provádějí úkoly současně během výrobního provozu. [10]

V této normě je dále klíčová kapitola 4.5 Eliminace nebezpečí a snížení rizika, ve které stojí, že po určení nebezpečí (seznam nebezpečí v této tabulce pro předchozí normu je stejný jako v této normě, viz *Tabulka 4*), je nezbytné posoudit rizika spojená se systémem robotu před aplikací příslušných opatření pro přiměřené snížení rizika. Opatření pro snížení rizika se zakládají na těchto základních předpisech:

- a) eliminací nebezpečí konstrukcí nebo snížení jejich rizik záměnou;
 - b) bezpečnostní ochranou k zabránění kontaktu obsluhy s nebezpečím, nebo zajištěním, aby se nebezpečí dostalo do bezpečného stavu před kontaktem s obsluhou;
 - c) poskytnutí dodatečných ochranných opatření jako informací pro použití, zaškolení, návštěví, osobní ochranné zařízení atd.
- [10]

Dle těchto norem je tedy jasné, že cobot musí být stejně jako průmyslový robot umístěn na pracoviště tak, aby neohrožoval pracovníky – tzn., že se využije bezpečnostní opatření (klec, světelná závora apod.). Mimo jiné, průmyslový robot (tedy i cobot) je považován dle Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/42/ES za strojní zařízení a pohybující se částí tohoto zařízení dle Nařízení vlády č. 378/2001 Sb. nesmí poškozovat zdraví zaměstnance.

Spolupráce člověka s robotem není nic nového a mysleli na ni již autoři norem EN ISO 10218-1 a EN ISO 10218-2. Již v těchto normách jsou definovány požadavky provozní spolupráce (4 základní principy) člověka s robotem.

- a) Princip 1 – Bezpečnostní monitorované zastavení – viz článek 5.10.2 v EN ISO 10218-1 a článek 5.11.5.2 v EN ISO 10218-2.
- b) Princip 2 – Ruční vedení - viz článek 5.10.3 v EN ISO 10218-1 a článek 5.11.5.3 v EN ISO 10218-2.
- c) Princip 3 – Monitorování rychlosti a polohy - viz článek 5.10.4 v EN ISO 10218-1 a článek 5.11.5.4 v EN ISO 10218-2.
- d) Princip 4 – Omezení síly a příkonu vlastní konstrukcí nebo ovládním - viz článek 5.10.5 v EN ISO 10218-1 a článek 5.11.5.5 v EN ISO 10218-2.

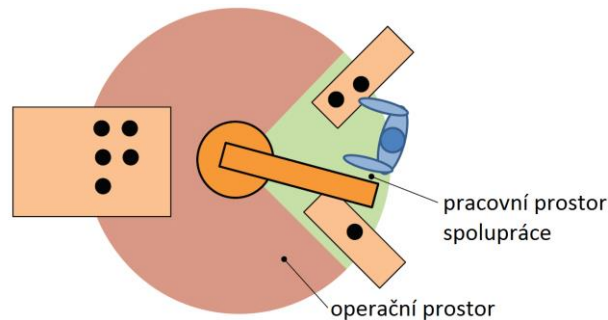
Většina cobotů, která se objevila na trhu v posledních letech, využívá právě princip č. 4.

Protože tyto normy nespecifikují bezpečné síly či tlaky při kontaktu cobota s operátorem, nebo způsob toho, jak vytvořit pracovní prostor spolupráce atd., umisťují provozovatelé coboty do klecí či mimo pracovní prostor, tak jak udávají doposud zmíněné předpisy. V současné době však existuje technická specifikace ISO/TS 15066:2016, která definuje, jak má být navržen společný prostor člověka a cobota.

▪ **Technická specifikace ISO/TS 15066:2016**

Tato relativně nová technická specifikace (dále jen specifikace) vydaná v únoru roku 2016 umožňuje spolupráci lidí a cobotů a je jakýmsi doplněním norem ČSN EN ISO 10218-1 a ČSN EN ISO 10218-2. Při implementaci cobota na pracoviště vznikne průnikem operačního prostoru cobota a pracovního prostoru člověka pracovní prostor spolupráce (viz *Obrázek 4-2*). Specifikace obsahuje pokyny pro navrhování a implementaci tohoto prostoru, který snižuje riziko pro lidi. Dle této

specifikace není u některých silově omezených aplikací, které jsou v souladu s normami ISO 10218-1 a ISO 10218-2 nutné, používat bezpečnostní kryty a ochranná zařízení.



Obrázek 4-2: Pracovní prostor spolupráce [12]

Technická specifikace řeší následující body:

- definice pojmů;
- důležité charakteristiky řídicích bezpečnostních systémů;
- faktory, které je třeba zvážit při navrhování spolupráce robotických systémů;
- vestavěné systémy související s bezpečností a jejich efektivní využívání;
- pokyny pro provádění těchto kolaborativních technik: bezpečnostní monitorované zastavení; ruční vedení; rychlost a sledování separace; energie a omezující síly;
- definuje biomechanické limity lidského těla.

[12]

Specifikace definuje hodnoty efektivní hmotnosti a tuhosti pro model člověka. Viz tabulka níže.

Tabulka 5: Hodnoty efektivní hmotnosti a tuhosti pro model člověka [12]

Oblast těla	Efektivní tuhost K [N/mm]	Efektivní hmotnost mH [kg]
Lebka a čelo	150	4,4
Oblíčeť	75	4,4
Krk	50	1,2
Záda a ramena	35	40
Hrudník	25	40
Břicho	10	40
Páneť	25	40
Paže a loketní klouby	30	3
Předloktí a zápěstí	40	2
Ruce a prsty	75	0,6
Stehna a kolena	50	75
Dolní končetiny	60	75

POZNÁMKA: Hodnoty hmotnosti pro stehna, kolena a dolní končetiny jsou nastaveny na celkovou váhu těla, protože tyto části těla jsou ovlivněny zpětným rázem nebo zatažením od nárazu, zatímco operátor stojí.

Dále specifikace uvádí povolené maximální rychlosti a minimální odstupy a dále definuje celkem 29 různých bodů na lidském těle. Ke každému z těchto bodů jsou přiřazeny dvě různé hodnoty tlaku a síly pro dva typy kontaktu, které nezpůsobí člověku zranění. Jedná se o níže uvedené kontakty.

Kvazi-statický kontakt

Kontakt mezi operátorem a částí robotického systému, kde nějaká část operátorova těla může být sevřena mezi pohybující se částí robotického systému a jinou fixní, nebo pohybující se částí robota. [12]

Přechodový kontakt

Kontakt mezi operátorem a částí robotického systému, kde žádná část těla operátora není zablokována a operátor může ucuknout nebo uhnout před pohybující se částí robotického systému. [12]

Následující tabulka definuje biomechanické limity, tedy specifikuje dovozená zatížení na jednotlivé části lidského těla s ohledem na typ kontaktu.

Tabulka 6: Biomechanické limity [12]

Region těla	Specifická oblast těla		Kvazi-statický kontakt		Přechodový kontakt	
			Maximální dovozený tlak p_s [N/cm ²]	Maximální dovozená síla N	Násobitel maximálního dovozeného tlaku pT	Násobitel maximální dovozené síly FT
Lebka a čelo	1	Střed čela	130	130	Nelze použít	Nelze použít
	2	Spánek	110		Nelze použít	
Obličej	3	Žvýkáci svaly	110	65	Nelze použít	Nelze použít
Krk	4	Krční sval	140	150	2	2
	5	Sedmý krční obratel	210		2	
Záda a ramena	6	Ramenní kloub	160	210	2	2
	7	Pátý bederní obratel	210		2	
Hrudník	8	Prsní kost	120	140	2	2
	9	Prsní sval	170		2	
Břicho	10	Břišní sval	140	110	2	2
Pánev	11	Pánevní kost	210	180	2	2
Paže a loketní klouby	12	Deltový sval	190	150	2	2
	13	Pažní kost	220		2	
Předloktí a zápěstí	14	Vřetenní kost	190	160	2	2
	15	Sval předloktí	180		2	
	16	Pažní nervy	180		2	
Ruce a prsty	17	Bříško ukazováčku D	300	140	2	2
	18	Bříško ukazováčku ND	270		2	
	19	Koncový kloub ukazováčku D	280		2	
	20	Koncový kloub ukazováčku ND	220		2	
	21	Thenar eminence (svaly dlaně)	200		2	
	22	Dlaň D	260		2	
	23	Dlaň ND	260		2	
	24	Hřbet ruky D	200		2	
	25	Hřbet ruky ND	190		2	
Stehna a kolena	26	Stehenni sval	250	220	2	2
	27	Češka	220		2	
Dolní končetiny	28	Střed holeně	220	130	2	2
	29	Lýtkový sval	210		2	

Pro každou oblast těla pak může být maximální dovozená přenesená energie vypočítána jako funkce maximální síly nebo maximálního tlaku uvedených v tabulce.

Maximální dovozená přenesená energie jako funkce maximální síly se vypočte dle následujícího vzorce:

$$E = \frac{F_{\max}^2}{2k}$$

kde

E je přenesená energie;

F_{max} je maximální kontaktní síla pro specifickou oblast těla (viz *Tabulka 6*);

k je efektivní tuhost pro specifickou oblast těla (viz *Tabulka 5*)

▪ **Certifikát TÜV SÜD**

V některých nejmenovaných firmách je díky tomuto certifikátu možno používat v pracovním prostoru lidí i coboty. Tento certifikát v ČR vydává společnost TÜV SÜD Czech, s r.o., a certifikát specifikuje bezpečnostní pokyny cobota a nástroje, tedy musí se provést certifikace cobota i nástroje. (Firma Schunk se například zabývá výrobou kolaborativních chapadel, které jsou již certifikované.) Pokud splní cobot i nástroj bezpečnostní požadavky, které jsou nutné pro udělení certifikátu, je možné umístit cobota do prostoru s lidmi bez použití klecí. Certifikát se u jedné nejmenované firmy provádí například konkrétně na funkci *Dual Check Safety*, která je nad celým systémem robota a zajišťuje funkčnost bezpečnostních prvků (senzorů, kamer, čidel aj.).

4.4 Legislativní problémy při implementace cobotů

Prohlášení o shodě CE

Veškeré výrobky, stroje zařízení apod., musí mít základní dokument, a to prohlášení o shodě, dále jen CE. Bez tohoto dokumentu by ani nemohly být uvedeny na trh a dále používány, takže logicky veškeré coboty na trhu CE mají. Bohužel CE u cobota se vztahuje jen na cobota samého, který je bez nástroje prakticky nepoužitelný. Jakmile se na cobota umístí jakýkoliv nástroj, dojde k zásahu do systému (cobot) a nyní už se nejedná jen o cobot samý, ale o nový systém (cobot + nástroj). V takovém případě se musí zajistit CE pro tento systém, ale i pro celé robotizované pracoviště. Legislativa se při návrhu, konstrukci a výrobě strojního zařízení (robotizovaného pracoviště) musí dodržet. Na konci tohoto procesu se musí získat kompletní strojní zařízení s ES prohlášením o shodě pro strojní zařízení, nebo se nedodrží, pak by k takovému strojnímu zařízení nemělo být vystaveno ES prohlášení o shodě. Pokud by bylo vystaveno, tak se jedná minimálně o závažné pochybení nebo záměrný podvod.

Neúplná znalost legislativy

V současné době existuje velká řada sporů a nejasností v oblasti legislativy týkající se implementace cobotů a mnohdy podniky v ČR ani nevědí, že existují možnosti, jak umístit tyto stroje mezi operátory. Ze strachu porušení bezpečnosti a předejití úrazu (přimáčknutí, vysoká tlaková síla aj.) na pracovišti, umísťují coboty jako tradiční průmyslové roboty do klecí, či mimo pracovní prostor operátorů. Je pravdou, že neexistuje norma, která by definovala maximální síly a tlaky, kterými může robot působit na člověka, ale za tímto účelem byla vytvořena a vydána technická specifikace ISO/TS 15066:2016, kde tyto hodnoty definovány jsou.

ISO/TS 15066:2016 není řešení na všechno

Drtivá většina cobotů je skutečně navržena tak, aby se při kontaktu s člověkem okamžitě zastavily a tím nezpůsobily úraz. Takto to však většina výrobců cobotů prezentuje. Ne vždy je ovšem pravda, že daný cobot nepřekročí síly a tlaky definované v ISO/TS 15066:2016. Zde je nutné být opatrný, protože je potřeba si uvědomit, že pokud bude cobot s užitečným zatížením (payload) např. 10 kg a on se při plném zatížení pohybuje, tak při nárazu bude mít značnou kinetickou energii. Pak je otázkou, zda pokud by operátora přirazil k nějakému předmětu, zda nedojde k překročení povolených hodnot tlaku a síly.

Nástroje implementované na cobot

Vždy je povinností provádět analýzu rizik a snižování rizik tzn., pokud hrozí rizika od nástroje, manipulovaného dílu, přípravku, pracovního stolu, prostředí, atd. tak je potřeba přijmout opatření a daná rizika odstranit, nebo snížit na přijatelnou mez. Pokud se tedy na cobota použije jako nástroj například nějaký nůž, tak z analýzy rizik velmi pravděpodobně vyplyne povinnost, že robot bude muset být umístěn v krytovaném prostoru a přístup k němu nebude dovolen, dokud nebude nástroj v bezpečném stopu (zastavení). Současně se také řeší rizika od samého nástroje, tj. např. zda kryt je schopen zadržet odlétající části od nástroje, nebo zda zlomený či roztržený nástroj neprorazí kryt atd.

Kontakt cobota s citlivými orgány člověka

Jedním z velmi častých důvodů, proč jsou coboty umisťovány do klece či mimo pracovní prostor operátorů je ten, že se konstrukce cobota může dotknout citlivých orgánů operátorů, jako jsou například oči a způsobit tak trvalé zdravotní následky. Toto může být řešeno a často se také řeší kombinováním dvou věcí. Vymezení prostoru spolupráce, tak aby se minimalizovala možnost kontaktu cobota s měkkými tkáněmi člověka a povinné používání osobních ochranných pomůcek, jako jsou ochranné brýle.

Elektromagnetická kompatibilita

Další věcí, kterou je třeba při implementaci řešit z hlediska bezpečnosti, je elektromagnetická kompatibilita (EMC). Návrh a konstrukce robota musí zamezit nebezpečným pohybům nebo situacím vlivem očekávaných jevů elektromagnetického rušení (EMI), rušení radiovými vlnami (RFI) a elektrostatickým výbojem (ESD) [9].

Při implementaci cobota na pracoviště se musí provést měření EMC a musí se dosahovat bezpečných hodnot. Při implementaci cobota na linku, která je nějak s cobotem propojena například softwarem, se navíc musí provést měření EMC pro celý systém (cobot + linka).

Implementace cobota je tedy po legislativní stránce velmi složitou záležitostí a je třeba si uvědomit, na jaké aplikace bude cobot využíván, s jakými bude pracovat nástroji apod. Proto je vhodné provést důkladnou analýzu pracoviště, kde bude cobot pracovat a analýzu všech procesů, operací a činností, které bude cobot vykonávat. Z těchto analýz pak vyplyne složitost implementace cobota po legislativní, ale i po technické stránce.

5 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU VE SPOLEČNOSTI

Tématem práce je *Implementace kolaborativního robota*, a to na reálné výrobní linky společnosti. V této kapitole je tedy nejprve představena společnost, pro kterou je tato práce tvořena, výrobky a výrobní linky včetně pracovišť, na kterých se tyto výrobky vyrábějí. Hlavní náplní této kapitoly je definování čtyři vybraných pracovišť, na kterých je požadavek ze strany společnosti na implementaci cobota. Každé toto pracoviště je však součástí odlišné výrobní linky. Aby bylo možné tyto linky a pracoviště definovat, bylo nutné provést analýzu videozáznamů získaných během výroby na těchto linkách a dále na základě konzultací s příslušnými pracovníky získat všechna další potřebná data. Každá linka je popsána z hlediska činností, které se zde vykonávají a zobrazena pomocí layoutu. Pro každou linku je vybrané pracoviště dále podrobněji popsáno a definováno pomocí tabulky, která zobrazuje činnosti, které na tomto pracovišti operátor provádí a jak dlouho je provádí. Analýza současné situace je klíčová pro další postup této práce, neboť cílem této kapitoly je zjistit, kolik času trvají veškeré činnosti pro každé vybrané pracoviště. Tento čas bude rozhodující pro výběr pracoviště dané linky pro implementaci cobota.

5.1 Definování společnosti

Tato práce byla vytvořena pro společnost Valeo, která má v ČR tři výrobní závody, a to v Rakovníku, Humpolci a Žebráku a jedno vývojové centrum, které se nachází v Praze. Závodem, se kterým bylo v rámci této práce spolupracováno, byl výrobní závod v Rakovníku Valeo Autoklimatizace, k. s. Závod se zaměřuje na výrobu součástí do automobilů. Konkrétně o výrobu klimatizačních jednotek, ovládacích panelů klimatizací a ovládacích panelů na stahování oken.



Obrázek 5-1: Montážní a personální hala ve Valeo Autoklimatizace, k. s. [21]

Historie

V roce 1994 vznikla společnost Klimatizační Systémy Automobilů. V letech 1995 a 1996 společnost Valeo koupila většinový podíl a od společnosti Siemens později i akcie. Na přelomu roku 1998 a 1999 se ze společnosti Valeo Autoklimatizace, s r.o., stala komanditní společnost Valeo Autoklimatizace, k. s. (dále jen Valeo). Závod Valeo prošel několika rekonstrukcemi a změnami. Poslední proběhla v roce 2006. V tomto roce bylo přistaveno 6500 m² výrobních a skladovacích ploch. Nové plochy slouží pro interní sklad hotové výroby a pro stávající výrobu v souvislosti s příchodem nových projektů. Součástí projektu bylo i nové parkoviště, nová kantýna a nové kanceláře. [21]

Závod se skládá z výrobní, skladovací, logistické a administrativní sekce, jejichž celková plošná velikost představuje 25 fotbalových hřišť. Klimatizační jednotky jsou sestavovány operátory, a to z více než 120 komponentů na 15 montážních linkách. Výrobní závod obsahuje i vlastní výrobu plastových dílů na 23 vstřikovacích lisech. Výroba ovládacích panelů se uskutečňuje na 14 linkách. Panely jsou dosti složité součásti a skládají se až z 60 komponentů. Společnost si našla cestu téměř ke všem předním výrobcům automobilů a v současné době mezi její zákazníky patří: VW, BMW, Renault, PSA Peugeot Citroën, Mercedes, Toyota, Volvo, Nissan, Lada, General Motors a další. [21]

Výrobní linky a vybraná pracoviště na těchto linkách

Odborníci ze společnosti Valeo pro implementaci cobota vybrali čtyři pracoviště, na čtyřech poloautomatických výrobních linkách. Poloautomatické proto, že součástí jsou roboty, testery či dopravní systémy, které sice pracují automaticky, ale ostatní činnosti jsou manuálně vykonávané operátory. Tyto poloautomatické linky se dále budou uvádět pouze jako linky. Následující tabulka definuje názvy těchto linek a pracovišť.

Tabulka 7: Vybrané výrobní linky a pracoviště

Vybrané výrobní linky	Vybraná pracoviště
Linka B479	Pracoviště BALENÍ
Linka MQB	Pracoviště BALENÍ
Linka LK	Pracoviště KLIPOVÁNÍ
Linka C346MCA	Pracoviště KLIPOVÁNÍ

Pozn.: Názvy vybraných pracovišť byly stanoveny podle hlavních činností, které se na těchto pracovištích provádí. Nejde tedy o označení, které používá společnost.

Výrobky vyráběné ve společnosti Valeo

Na výše zmíněných výrobních linkách se provádí montáž následujících dvou základních výrobků společnosti Valeo. Jedná se o tyto výrobky:

- ovládací panel na stahování oken



Obrázek 5-2: Ovládací panel na stahování oken s pěti spínači

Ovládací panely na stahování oken se montují pouze na lince MQB. Montáž provádí automatická linka a hotové výrobky jsou operátory baleny, jak bude později řečeno. Z tohoto důvodu nebude proveden rozbor jednotlivých komponent těchto panelů.

Na ostatních linkách dochází k montáži ovládacích panelů klimatizačních jednotek. Viz níže.

- **Ovládací panel klimatizační jednotky**



Obrázek 5-3: Ovládací panel klimatizační jednotky

Na rozdíl od panelů na stahování oken, které se pouze balí jako hotové výrobky, se panely klimatizačních jednotek na linkách LK a C346MCA ručně montují. Jelikož bude montáž panelů klimatizačních jednotek v následující kapitole popisována, je nutné vypsát dílčí komponenty, ze kterých se sestava (panel klimatizační jednotky) skládá.

Tabulka 8: Komponenty ovládacího panelu klimatizační jednotky

SESTAVA	
Podsestava 1	Podsestava 2
Clona	Zadní kryt
Membrána	Přepínač
Plošný spoj	Viper (stěrač)

V následující kapitole nyní budou výše zmíněné linky a pracoviště definovány.

5.2 Definování vybraných výrobních linek a pracovišť

Na základě pozorování ve výrobě, analýzy videozáznamů z výroby a získaným souborům od společnosti, bylo možné popsat veškeré činnosti, které se na linkách vykonávají. Protože se implementace cobota týká pouze vybraných pracovišť, bude větší pozornost věnována těmto pracovištím. Pro každé vybrané pracoviště byla vytvořena tabulka, ve které jsou vypsány veškeré prováděné činnosti, které zde provádí **pouze a vždy jeden operátor**. Každé činnosti je přiřazena doba trvání. Doba trvání jednotlivých činností v tabulkách byla získána aritmetickým průměrem několika hodnot doby trvání dané činnosti, které byly získány na základě analýzy videozáznamů.

Jelikož se doposud objevoval a dále bude objevovat pojem linka a pojem pracoviště, je nutné vysvětlit rozdíly mezi těmito pojmy, aby nedošlo k případným nejasnostem.

- **Linkou** je myšlen jeden samostatný výrobní celek tvořen z několika dílčích pracovišť, jehož výstupem je hotový výrobek.
- **Pracoviště** je dílčí část linky, jeho výstupem je nedokončený výrobek vstupující na další pracoviště téže linky.

Dále je třeba vysvětlit pojmy *takt time* a *cycle time*.

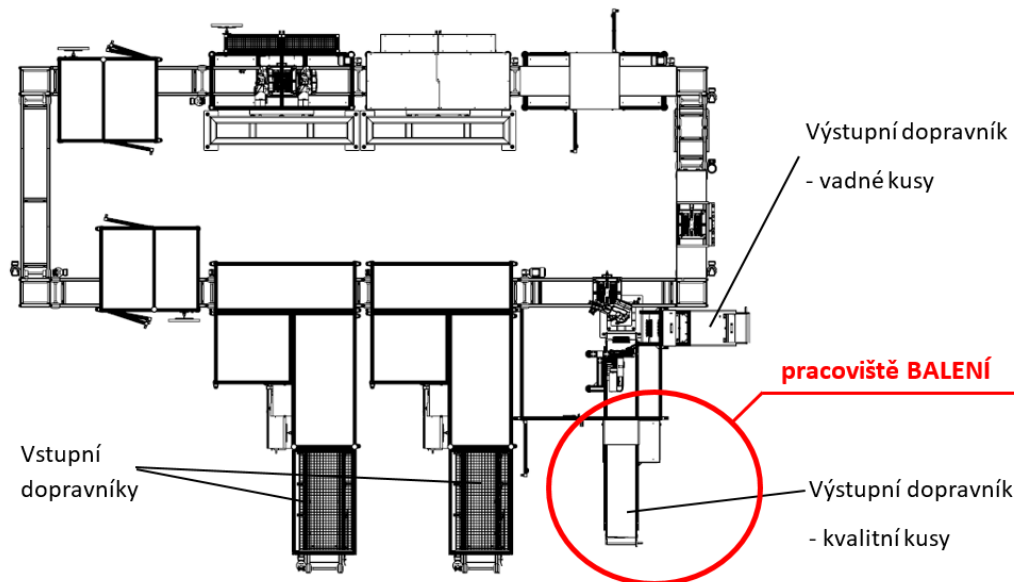
- **Cycle time** – je čas potřebný k dokončení výroby jedné jednotky (jednotkou může být paletka obsahující 2 výrobky).
- **Takt time** – je čas potřebný k dokončení výroby jednoho kusu.

Př.: Z výrobní linky vystupují každých 20s paletky obsahující 4 hotové výrobky. Cycle time je tedy 20s, ale takt time je 5s (20 / 4). Pokud z linky vystupují výrobky po jednom kuse, takt time = cycle time.

5.2.1 Automatická linka – B479

Linka označená B479 je automatická linka, na které se provádí spojení dvou sestav k sobě (přední a zadní kryt ovládacího panelu) a následně kontrola těchto spojených dílů. Tyto dvě operace provádí systém dopravníků, robotů, čidel a senzorů a výsledkem jsou hotové ovládací panely klimatizačních jednotek (dále jen panely). Viz Obrázek 5-3. V současné situaci na této lince operují dva operátoři, jejichž pracovní náplní je vkládání zmíněných dvou sestav na dva vstupní pásové dopravníky (sestavy se vkládají na pásové dopravníky v plastové paletě ve větším množství), odebrání ovládacích panelů z výstupního dopravníku, jejich načtení do systému a následné zabalení. Operátoři dále vykonávají činnosti jako je přesun plných beden mimo linku a naopak přesun prázdných beden do prostoru linky. Dále ovládání PC v případě změny zakázky a další činnosti spojené s balením.

Layout linky:



Obrázek 5-4: Layout automatické linky B479 – upraveno dle [42]

5.2.2 Definování pracoviště BALENÍ

Vybraným pracovištěm za strany společnosti na této lince bylo pracoviště balení. Viz Obrázek 5-5. Na tomto pracovišti jsou operátorem hotové výrobky z výstupního dopravníku odebrány a kontrolovány, přičemž kontrola v budoucnu bude z procesu vyřazena, a proto nebude dále uvažována. Dále jsou výrobky operátorem načteny do systému (OK/NOK) a následně zabaleny.



Obrázek 5-5: Pracoviště BALENÍ na lince B479 [zdroj autor]

Samotné balení se provádí dvěma způsoby. Prvním způsobem je balení do pytlíků a následné vložení do kartonové krabice typu IMC 100, tím druhým je pouhé vkládání dílů do vratného boxu z EPP. Způsoby balení – viz následující obrázky.



Obrázek 5-6: Balení výrobků do kartonové krabice [zdroj autor]

V případě balení do kartonových krabic, operátor musí vkládat proklady do krabice a plné krabice zalepit. Na zabalené krabice nakonec nalepí štítek a krabici přesune mimo pracoviště na definované místo. Do kartonové krabice se vejde celkem 24 kusů výrobků.



Obrázek 5-7: Balení výrobků do vratných boxů z EPP [zdroj autor]

V případě balení do boxů z EPP se výrobky pouze vkládají do výřezů v boxech. Celkem lze do jednoho boxu uložit 8 kusů výrobků. Po naplnění boxu je do vyhrazeného místa na něm, umístěn štítek, který je vytištěn tiskárnou po načtení posledního výrobku a tento plný box je následně přesunut mimo pracoviště na paletu. Boxy jsou na paletě skládány na sebe do 8mi pater. Každé patro na paletě obsahuje 5 boxů. Na paletu se tedy vejde 40 boxů a 5 vrchních z nich je nakonec jednorázově uzavřeno víkem.

Poměr zakázek balených do kartonových krabic a do vratných boxů z EPP je 50:50.

V následující tabulce je možné vidět, jak dlouho trvají veškeré činnosti na vybraném pracovišti BALENÍ pro zabalení výrobků do 8 boxů – 64ks výrobků.

Tabulka 9: Činnosti a jejich trvání na pracovišti BALENÍ - linka B479

Seznam činností na pracovišti BALENÍ	Doba trvání 1 ks [s]	Četnost na 8 boxů [ks]	Celková doba trvání [s]
Přesun prázdného boxu na pracovní místo	6	8	48,00
Odebrání výrobku z dopravníku	1,15	64	73,60
Načtení výrobku do systému	2,23	64	142,72
Vložení výrobku do vratného boxu	3	64	192,00
Vložení štítku do vyhrazeného místa na boxu	3	8	24,00
Celkový čas procesu			480,32

Celkový čas procesu 480,32 je čas na naplnění osmi vratných boxů výrobky. Výrobky vystupují z linky po jednom kuse, a proto je takt time i cycle time linky stejný.

Pozn.: Přesun boxů na paletu, jejich skládání na sebe a umístění vík jsou činnosti prováděné mimo toto pracoviště, a proto je provádí druhý pracovník.

Základní parametry pracoviště během náměru

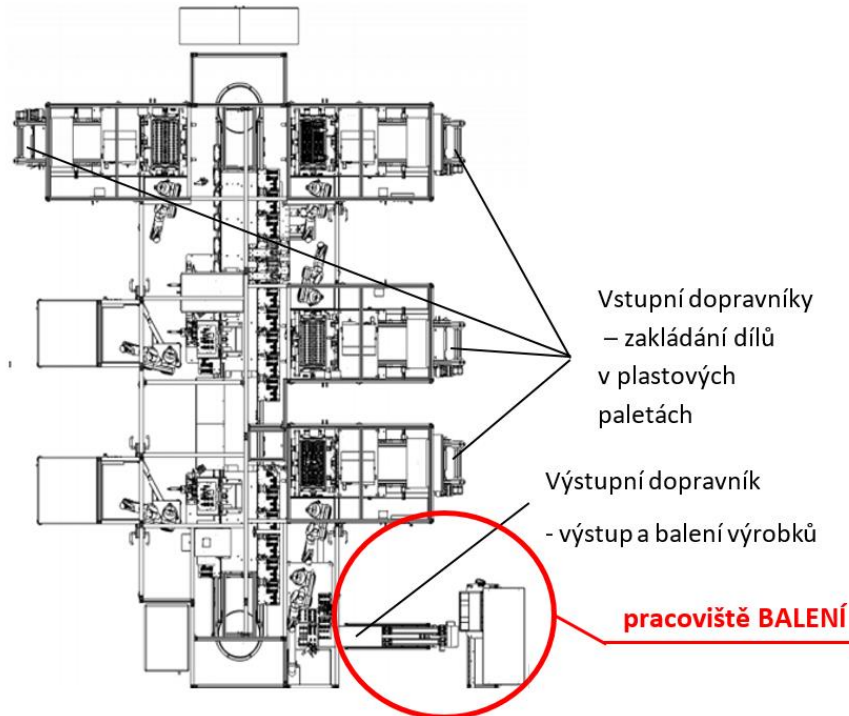
- Počet operátorů na pracovišti – 1
- Výsledný výrobek – ovládací panel klimatizační jednotky
- Typ výrobku – FORD E116 8476F
- Typ krabice/bedny – vratný box z EPP
- Celkový čas na zhotovení 1 krabice – 346,12s
- Takt time 1 kusu – 10s
- Cycle time linky – 10s

5.2.3 Automatická linka – MQB

Tato linka pracuje na podobném principu jako předchozí linka B479, ale výslednými výrobky tu jsou spínače pro ovládací panely na stahování oken (viz *Obrázek 5-2*), které se skládají z několika dílů (zadní kryt a tělo ovladače, plošný spoj a samotné spínače), jež se uvnitř linky kontrolují a spojují ve výsledný výrobek. Pracují zde dva operátoři, jejichž hlavní náplní je vkládání dílů, kontrola a balení hotových výrobků. Díly se vkládají v plastových paletách na 2 až 4 pásové dopravníky (dle varianty výrobku) a dále pokračují přes systém dopravníků, čidel, senzorů a robotů, které zajistí kvalitní výstup výrobků. Výrobky jsou odebrány operátorem z výstupního dopravníku, zkontrolovány a baleny. Další náplní operátorů jsou další činnosti spojené s balením a doplňováním beden s díly na definované místo. Dále pak práce na PC jako je např. zadávání informací o dané výrobě do systému (software SAP). V poslední řadě

kontrolovat displej ovládací jednotky linky a při zaznamenání zvladatelné komplikace (chyby) tuto komplikaci vyřešit.

Layout linky:



Obrázek 5-8: Layout automatické linky MQB – upraveno dle [42]

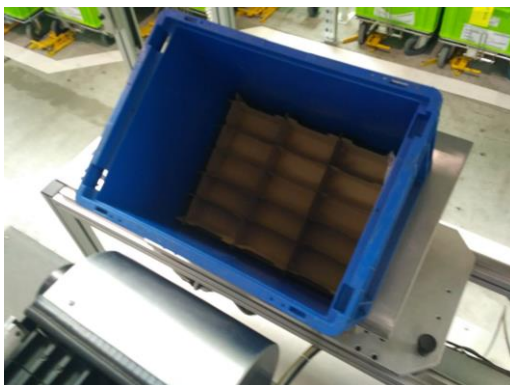
5.2.4 Definování pracoviště BALENÍ

Vybraným pracovištěm za strany společnosti na této lince bylo opět pracoviště, na kterém se provádí balení, viz obrázek níže. Na tomto pracovišti jsou operátorem hotové výrobky z výstupního dopravníku odebírány a vkládány do kartonové mřížky v plastové bedně či kartonové krabici. Během balení se též u každého 10. kusu provádí vizuální kontrola.



Obrázek 5-9: Pracoviště BALENÍ na lince MQB [zdroj autor]

Operátor po umístění bedny/krabice ze zásobníku na definované místo musí rozložit a následně vložit kartonovou mřížku do bedny/krabice (viz *Obrázek 5-10*) a po jejím naplnění výrobky, vložit proklad, na který umístí další mřížku atd. Plastová bedna i kartonová krabice pojmu stejné množství výrobků. Do obou je vloženy celkem 5 mřížek, 5 prokladů a celkem tedy 75ks výrobků.



Obrázek 5-10: Kartonová mřížka v plastové bedně [zdroj autor]

Následně operátor potvrdí tisk štítku a vloží ho do krabice/bedny. Kartonové krabice se navíc musí uzavřít víkem. Nakonec je na krabici/bednu vložen lístek pro kontrolu a druhým pracovníkem je tato plná krabice/bedna odnesena na paletu mimo pracoviště.

Z celkového množství zakázek se z 80% používají plastové bedny, ze zbylých 20% kartonové krabice.

V následující tabulce je možné vidět, jak dlouho trvají veškeré činnosti na tomto pracovišti pro zabalení výrobků do jedné kartonové krabice či plastové bedny.

Tabulka 10: Činnosti a jejich trvání na pracovišti BALENÍ - linka MQB

Seznam činností na pracovišti BALENÍ	Doba trvání 1 ks [s]	Četnost na bednu [ks]	Celková doba trvání [s]
Přesun prázdné krabice ze zásobníku na pracovní místo	4,00	1,0	4,00
Vložení kartonové mřížky do krabice	7,75	5,0	38,75
Vložení prokladu do bedny	4,25	5,0	21,25
Odebrání výrobku a vložení do kartonové mřížky	2,50	75,0	187,50
Kontrola výrobku (každý 10. kus)	6,33	7,5	47,50
Potvrzení tisku štítku	1,67	1,0	1,67
Vložení štítku do krabice	6,67	1,0	6,67
Zavření krabice víkem	4,33	1,0	4,33
Nalepení lístku pro kontrolu na krabici/umístění na bednu	6,50	1,0	6,50
Celkový čas procesu			318,17

Celkový čas procesu 318,17s je čas potřebný na naplnění a zabalení jedné bedny/krabice (75ks spínačů). Linka však každých 15s vyrobí dva výrobky, které opouští linku v jedné paletce. Každých 7,5s tedy operátor musí provést veškeré činnosti spojené s vložení výrobku do krabice. V případě balení výrobků do plastové bedny se celkový čas sníží pouze o čas potřebný k zavření krabice víkem (4,33s).

Rozdíl v celkových časech je tedy nepatrný, a proto bude dále počítáno pouze s celkovým časem uvedeným v tabulce výše.

Pozn.: Přesun plné krabice/bedny na paletu je činnost prováděná mimo toto pracoviště, a proto ji provádí druhý pracovník.

Základní parametry pracoviště během náměru

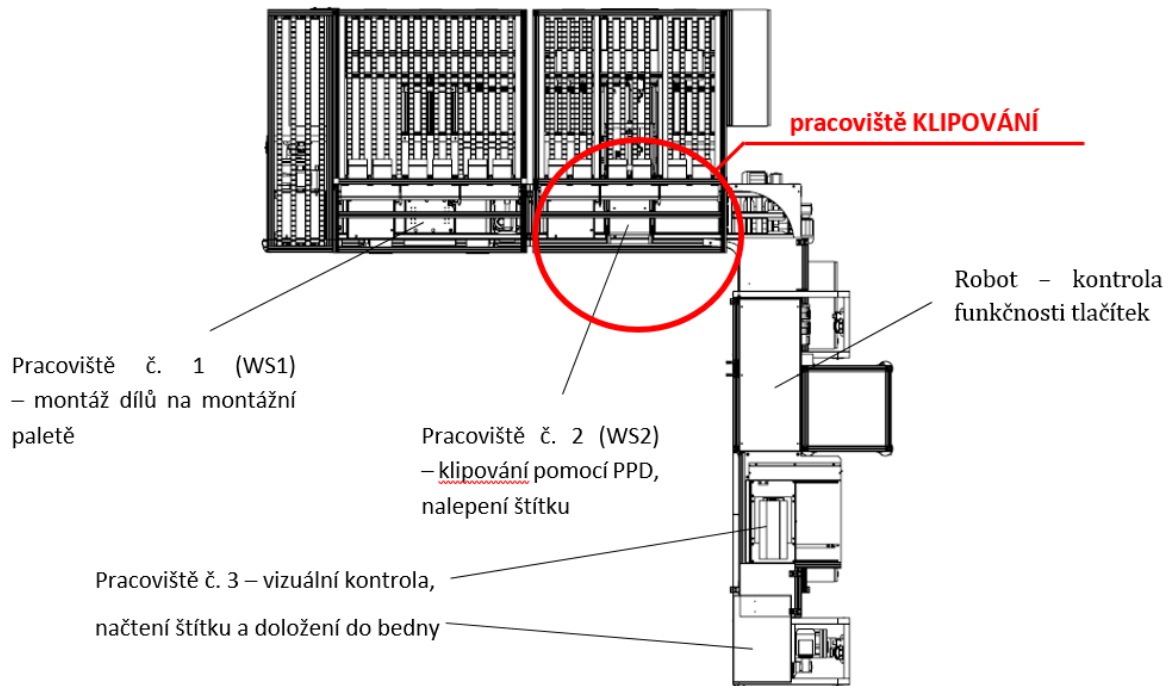
- Počet operátorů na pracovišti – 1
- Výsledný výrobek – spínače pro ovládací panely na stahování oken
- Typ výrobku – 4 WINDOW LIFTER
- Typ krabice/bedny – kartonová krabice
- Celkový čas na zhotovení 1 krabice – 270,67s
- Takt time 1 kusu – 7,5s
- Cycle time linky – 15s

5.2.5 Poloautomatická linka – LK

Na této lince se provádí montáž a kontrola ovládacích panelů do klimatizací. Operují zde standardně tři operátoři na třech pracovištích, přičemž na prvním pracovišti označené jako WS1 operátor vkládá clonu panelu do montážní palety¹ (dále jen paletka). Do clony pak umístí další součástky (membránu, plošný spoj) a připojí konektor audio kabelu. Následně na clonu předklipuje zadní kryt a po stisknutí tlačítka odešle paletku na druhé pracoviště označené WS2. Na tomto pracovišti další operátor provede kontrolu a tzv. klipování. Následuje nalepení štítku na panel, kontrola a zapojení kabelu do paletky. Poté operátor odešle paletku s panelem do prostoru robota, který provádí pouze kontrolu funkčnosti tlačítek. V tomto prostoru je přítomna i kamera na detekci nenormálních jevů. Po této kontrole operátor z třetího pracoviště odebere tento panel. V odhlučněné části pracoviště provede vizuální kontrolu, kontrolu třesením a kontrolu funkčnosti tlačítek, načte panel do systému a následně ho odloží do vratného boxu z EPP. Mezi ostatní činnosti, které musí operátoři dělat, patří přesun prázdných beden mimo linku a doplňování potřebných dílů na linku.

¹ Paletky jsou součástí okružního automatizovaného dopravního systému, jenž začíná na prvním pracovišti, prochází druhým pracovištěm až do pozice robota a následně pokračuje zpět k prvnímu pracovišti linky.

Layout linky:



Obrázek 5-11: Layout linky LK – upraveno dle [42]

5.2.6 Definování pracoviště KLIPOVÁNÍ

Vybraným pracovištěm bylo pracoviště č. 2, neboli pracoviště KLIPOVÁNÍ. Zde operátor provádí pomocí PPD tzv. klipování zadního krytu k cloně, které na toto pracoviště přijíždí na paletce z pracoviště WS1. Klipováním dojde k trvalému a dokonalému spojení obou částí.



Obrázek 5-12: Pracoviště KLIPOVÁNÍ na lince LK [zdroj autor]

Následuje nalepení štítku na panel, rychlá vizuální kontrola, kontrola finger pointigem a poté připojení konce konektoru audio kablíku do konektoru v paletce při současném vložení panelu do paletky tlačítky vzhůru. Operátor po té stisknutím tlačítka odešle paletku s panelem do prostoru robota a čeká na další paletku z pracoviště WS1.



Obrázek 5-13: Detail PPD, paletky a tiskárny na štítky [zdroj autor]

V následující tabulce je možné vidět, jak dlouho vykonává operátor jednotlivé činnosti na tomto pracovišti.

Tabulka 11: Činnosti a jejich trvání na pracovišti KLIPOVÁNÍ - linka LK

Seznam činností na pracovišti KLIPOVÁNÍ	Celková doba trvání [s]
Klipování zadního krytu k cloně pomocí PPD	4,00
Nalepení štítku na ovládací panel	3,12
Vyjmutí ovládacího panelu z paletky a jeho kontrola	4,35
Připojení konektoru audio kabelu do konektoru paletky Vložení panelu do paletky tlačítka vzhůru Stisknutí tlačítka pro odeslání paletky do prostoru robota	3,24
Čekání na paletku z předchozího pracoviště	5,41
Celkový čas procesu	20,12

Celkový čas procesu 20,12s je v podstatě taktem tohoto pracoviště – tedy každých 20,12s paletka s hotovým kusem opustí toto pracoviště a směřuje na další pracoviště linky.

Činnosti připojení vyjmutí ovládacího panelu z paletky a jeho kontrola, připojení konektoru audio kabelu do konektoru paletky a vložení panelu do paletky tlačítka vzhůru vykonává operátor současně oběma rukama.

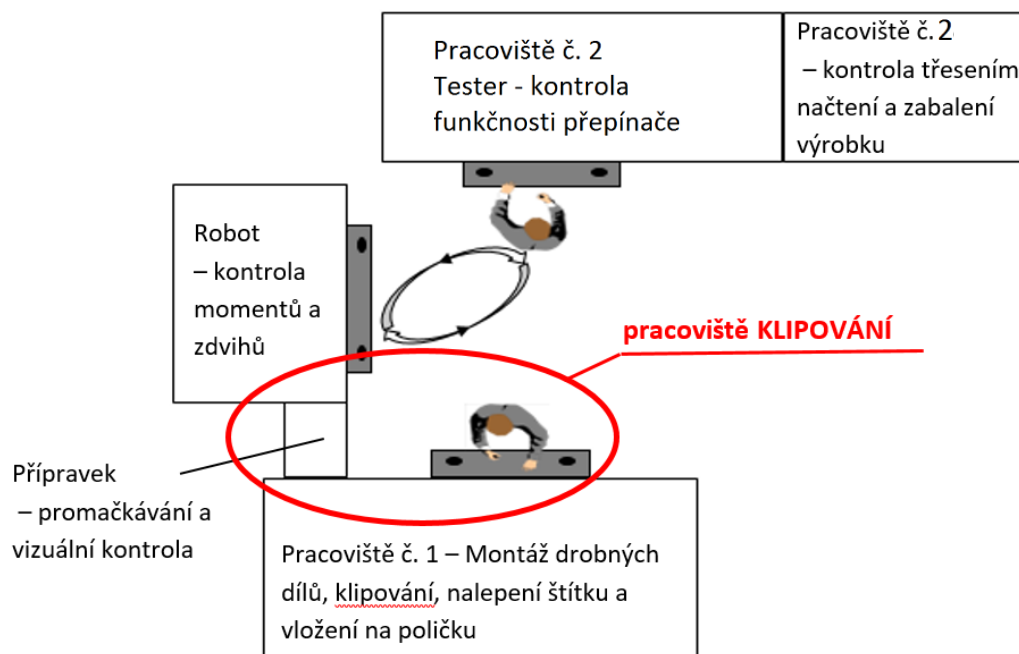
Základní parametry pracoviště během náměru

- Počet pracujících operátorů – 1
- Výsledný výrobek – ovládací panel klimatizační jednotky
- Typ výrobku – L7 AUDIO PANEL
- Celkový čas činností operátora na pracovišti – 20,12s
- Takt time pracoviště – 20,12s

5.2.7 Poloautomatická linka C346MCA

Na této lince pracuje buď jeden, nebo dva operátoři (dle potřeby) a stejně jako v předchozím případě i zde dochází k montáži a kontrole ovládacích panelů klimatizačních jednotek (dále jen panelů). V případě, že zde pracují dva operátoři, jeden operátor provádí skládání z dvou podsestav panelu v přípravku jeden celek (panel), na který nalepí štítek, a panel vloží do přípravku, kde probíhá kontrola. Druhý operátor pak panel z přípravku vyjme a vloží ho do testeru, který testuje funkčnost přepínače. Po vyjmutí dílu z testeru se provede kontrola zatřesením a načtení hotového výrobku do systému. V poslední řadě musí operátor výrobek zabalit. Balení se provádí buďto do pytlíků a dále se skládají do kartonové krabice, nebo do vratných boxů z EPP. Viz *Obrázek 5-7*. Operátoři mimo to musí doplňovat potřebné díly, přesunout plné bedny/vratné palety na definované místo mimo linku a naopak.

Layout linky:



Obrázek 5-14: Layout linky C346MCA – upraveno dle [42]

5.2.8 Definování pracoviště KLIPOVÁNÍ

Na pracovišti KLIPOVÁNÍ (pracoviště č. 1) operátor provádí následující činnosti. Z bedny vyjme a vizuálně zkontroluje clonu a vloží ji do přípravku. Do clony poté vkládá membránu a plošný spoj, čímž vytvoří podsestavu 1. Na tuto podsestavu položí podsestavu 2 a vznikne sestava. Podsestavu 2 skládá v témže přípravku vždy v předchozím cyklu. Podsestava 2 se skládá ze zadního krytu ovládacího panelu, do něhož se vkládá přepínač a viper tzv. stěrač. Poté pomocí PPD provede klipáž podsestav 2 a sestavy v jeden celek (panel), na který nalepí štítek a tento panel odloží na poličku. Během pokládání na poličku se provede letmá vizuální kontrola. Panel operátor z poličky systémem FIFO odebere, vloží a zasune ho do přípravku. V přípravku probíhá promačkávání tlačítek (kontrola tuhosti a poddajnosti membrány). Operátor nakonec

panel z přípravku vysune pro druhého operátora, čímž ukončuje cyklus v rámci tohoto pracoviště.

Operátor provádí mimo to ještě další činnosti jako například otevření plných beden s komponentami a úklid beden prázdných, dále vkládání membrány do prostoru se vzduchem (a nutný střídavý přesun) a mazání plošného spoje. Tyto všechny činnosti jsou zahrnuty v činnosti *Montáž podsestav 1, 2 a ostatní manipulační činnosti*. Viz Tabulka 12.



Obrázek 5-15: Pracoviště KLIPOVÁNÍ na lince C346MCA [zdroj autor]



Obrázek 5-16: Detail pracoviště [zdroj autor]

V následující tabulce jsou časy činností, které operátor vykonává.

Tabulka 12: Činnosti a jejich trvání na pracovišti KLIPOVÁNÍ - linka C346MCA

Seznam činností na pracovišti KLIPOVÁNÍ	Celková doba trvání [s]
Montáž podsestav 1, 2 a ostatní manipulační činnosti	32,74
Klipáž pomocí PPD	3,18
Nalepení štítku na ovládací panel	3,06
Odložení panelu na poličku včetně letmé vizuální kontroly	2,18
Přesun panelu z poličky do přípravku a jeho zasunutí	2,35
Vysunutí přípravku	1,12
Celkový čas procesu	44,63

Z tabulky je vidět, že vybrané činnosti na tomto pracovišti trvají operátorovi dohromady 44,63s. Tento čas je v podstatě taktem tohoto pracoviště.

Základní parametry pracoviště během náměru

- Počet operujících operátorů – 1
- Výsledný výrobek – ovládací panely klimatizačních jednotek
- Typ výrobku – C520 PANEL
- Celkový čas činností operátora na pracovišti – 44,63s
- Takt time pracoviště – 44,63s

Cílem této kapitoly nebylo zjistit, které vybrané pracoviště je pro implementaci nejvhodnější, ale pouze zjistit, jaké činnosti operátoři na pracovištích provádějí a jak dlouho trvají. Činnosti a doba trvání bude klíčová pro další postup této práce, viz kapitola *IMPLEMENTACE COBOTA NA VYBRANÁ PRACOVIŠTĚ*.

6 IMPLEMENTACE COBOTA NA VYBRANÁ PRACOVÍŠTĚ

V předchozí kapitole byla provedena analýza vybraných pracovišť a nyní jsou známy všechny činnosti, které se vykonávají na vybraných pracovištích i jak dlouho tyto činnosti operátorům trvají. Byl tak zjištěn takt pracovišť, nebo celkový čas, který operátor věnuje naplnění jedné bedny výrobky, jejímu zabalení apod. V případě implementování cobota by měl tento čas operátorovi odpadnout. Ideální případ je, aby cobot na pracovišti nahradil operátora v plném rozsahu. Je pravděpodobné, že nebude vždy možné plně operátora nahradit a některé činnosti by stejně musel dále vykonávat. V takovém případě je rozhodující, zda další operátoři, kteří na lince pracují, jsou nevytíženi a mohou činnosti prvního operátora převzít. To by znamenalo, že by na daném pracovišti nebyl jeden operátor vůbec potřeba, což znamená určitou úsporu ve mzdových nákladech.

Pozn.: Není důležité, aby cobot pracoval rychleji než operátor, ale aby ho nahradil.

Cílem této kapitoly je nejprve pro vybraná pracoviště zvolit nejvhodnějšího cobota a firmu, která se zabývá implementací zvoleného typu cobota (tzv. integrátora). Dále provést u pracovišť výběr vhodných činností pro automatizaci a určit zda jsou pracoviště vhodná pro automatizování, či nikoliv. Součástí toho je i definování technických problémů, které brání v automatizaci. Na vhodných pracovištích bylo ve spolupráci s externí firmou (integrátorem) dále navrženo technické řešení implementace včetně nákladů na investici těchto řešení a v poslední řadě je stanovena doba návratnosti implementace. Doba návratnosti implementace by měla být nižší než je požadovaná (maximálně 2 roky). Nakonec této kapitoly je popsán způsob umístění cobota na pracovištích z hlediska bezpečnosti.

6.1 Výběr vhodného cobota

Cobot bude vybrán ze seznamu dostupných cobotů na trhu (viz kapitola *Analýza trhu vyráběných cobotů*) na základě níže uvedených kritérií.

- **Český distributor**

Pro případné efektivní a rychlé implementování (integrování) cobota, jeho servis, školení pracovníků aj., je podmínkou spolupracovat s českou firmou a mít veškerou dokumentaci a software v českém jazyce.

- **Využitelnost**

Parametry některých cobotů mohou být pro práci na vybraných pracovištích nevyhovující, anebo jsou zbytečně vysoké.

- **Pořizovací cena**

Pořizovací cena je základní cena cobota bez nástroje. Je závislá na dodavateli, oblasti distribuce, věrnostní či množstevní slevě aj. Někteří výrobci do základní ceny zahrnují i software, aktualizace softwaru, touchpad nebo stojan. Jedná se tedy pouze o řádovou cenu, která se po nakoupení nástroje a dalších dílčích komponent (senzory, kamery, čidla) může výrazně lišit.

Následující tabulka slouží k výběru vhodného cobota, na základě zmíněných kritérií.



Tabulka 13: Výběr vhodných cobotů

VÝROBCE	TYP	ČESKÝ DISTRIBUTOR	VYŽITELNOST	POŘIZOVACÍ CENA
ABB	YuMi	x		40 000 €
	Roberta			
Bionic Robotics	BioRob			
BOSCH	APAS			
Fanuc	CR-35iA	x		75 000 €
	CR-4iA	x		50 000 €
	CR-7iA	x	x	45 000 €
	CR-7iA/L	x	x	45 000 €
F&P Personal	P-ROB 2R			
Kawada industries	NEXTAGE			
Kawasaki	duAro			
KUKA	IIWA - 7R 800	x	x	70 000 €
	IIWA -14R 820	x	x	70 000 €
MABI Robotics	Speedy 6			
	Speedy 12			
MRK Systeme	KR 5 SI			
Precise Automation	PAVP6			
	PF400			
	PP 100			
Rethink Robotics	Sawyer			
	Baxter			
Universal Robots	UR3	x		19 750 €
	UR5	x	x	23 900 €
	UR10	x	x	29 900 €
Yaskawa	Motoman HC 10			

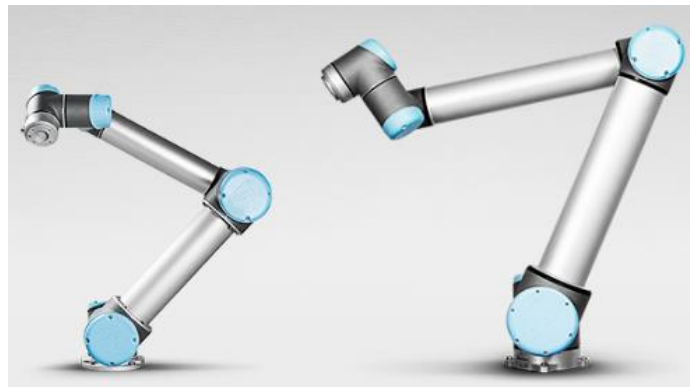
Z celkově 25 uvedených typů je pouze 10 z nich distribuováno a implementováno na území ČR. Z těchto deseti **nejsou** dále vhodné typy CR-35iA od firmy Fanuc, jehož přílišná robustnost a zbytečně vysoká nosnost (35kg) je na vybraná pracoviště nevyužitelná. Dále typ CR-4iA (též od firmy Fanuc), typ Yumi od firmy ABB a typ UR3 od firmy Universal Robots, jejichž pracovní dosah (500-550mm) je pro vykonávání činností na pracovištích příliš malý.

Na základě posledního kritéria - pořizovací ceny, byly vybrány coboty společnosti Universal Robots, které se dají pořídit za nejnižší cenu. Jedná se o coboty s označením UR5 a UR10. Viz tabulka níže.

Tabulka 14: Nejvhodnější coboty pro vybraná pracoviště – upraveno dle [5]

Výrobce	Obrázek	Počet os	Užitečné zatížení	Dosah	Hmotnost	Rychlost	Cílené aplikace	Vidění a senzory	Základní cena
Universal Robots		6 ti osá paže	5 kg (11 lbs)	850 mm (33,5 in)	18,4 kg (40,6 lbs)	Koncového efektoru: 1 m/s (39,4 in/s)	Obsluha strojů, Pick and Place aplikace, aplikační proces, shromažďování, balení	zastavení ramena při detekci přetížení (nadprodu) stejně tak při kolizi	23 900 €
Universal Robots		6 ti osá paže	10 kg (22 lbs)	1 300 mm (51,2 in)	28,9 kg (63,7 lbs)	Koncového efektoru: 1 m/s (39,4 in/s)	Obsluha strojů, Pick and Place aplikace, aplikační proces, shromažďování, balení	zastavení ramena při detekci přetížení (nadprodu) stejně tak při kolizi	29 900 €

Oba typy jsou si velmi podobné, co se designu a konstrukce týče. Typ UR10 má ale oproti typu UR5 větší rozměry, hmotnost, užitečné zatížení a dosah. Na obrázku níže je vidět velikostní rozdíl těchto cobotů (vlevo UR5, vpravo UR10).



Obrázek 6-1: Coboty UR5 a UR10 společnosti Universal Robots [41]

Pro implementování cobota na vybraná pracoviště byla jako integrátor zvolena společnost DREAMland, spol. s r.o. (dále jen DREAMland) se sídlem v Kosmonosích, která se zabývá integrací kolaborativních robotů od firmy Universal Robots, a která jako jediná z oslovených byla ochotna pomoci.

6.2 Posouzení vhodnosti vybraných pracovišť pro automatizaci

Na základě konzultací s odborníky ze společnosti DREAMland, odborníky z dalších firem a na základě analýzy uvedených zdrojů a poznatků týkajících se automatizované výroby s využitím cobotů bylo zjištěno, které činnosti mohou coboty na vybraných pracovištích vykonávat a které vykonávat nemohou. Byly tedy zjištěny vhodné procesy (činnosti) pro automatizaci na těchto pracovištích. Pro každé pracoviště byla opět vytvořena tabulka obsahující seznam činností, stejně jako tomu bylo v kapitole 5. Ta je ale navíc rozšířena o činnosti, které lze automatizovat, tedy z operátora přesunout na cobota. Pro současný stav platí, že veškeré činnosti na pracovišti vykonává operátor. Pro stav po implementaci mohou některé činnosti vypadat jinak, neboť bude nutné pracoviště vybavit dalšími prvky – např. dopravníkem, zásobníky na prázdné krabice apod. Předpokládá se, že tyto činnosti budou trvat maximálně stejně rychle, jako pro současný stav. Pro vyhodnocení, které činnosti připadnou z operátora na cobota, se však bude vycházet z toho, že jsou činnosti stejné (včetně délky trvání) jak pro současný stav, tak pro stav po implementaci.

Dále jsou na některých pracovištích činnosti, které mohou být pro cobota problematické a znemožňují tak automatizaci pracoviště. U každého pracoviště jsou tedy uvedeny technické problémy spojené s implementací.

Pozn.: V této práci se předpokládá, že cobot pracuje minimálně stejně rychle jako člověk, neboť skutečnou rychlost vykonávání činností cobotem lze stanovit až během provozu po implementaci. Navíc pracovní rychlost cobota lze regulovat (snížit/zvýšit) dle potřeby.

Dále je uvažováno, že cobot bude veškeré činnosti provádět pouze s využitím **jednoho nástroje**. Je samozřejmě možné, aby cobot nástroje měnil dle potřeby, ale tato výměna s sebou nese značné časové ztráty. Proto činnosti, které může vykonávat, jsou v souladu s využitím jednoho nástroje.

6.2.1 Pracoviště BALENÍ na lince B479

V případě nasazení cobota na toto pracoviště by cobot prováděl převážnou většinu činností. Viz tabulka níže.

Tabulka 15: Činnosti možné automatizovat na pracovišti BALENÍ – linka B479

Seznam činností na pracovišti BALENÍ	Doba trvání [s]	Současný stav		
		Operátor	Operátor	COBOT
Přesun prázdného boxu na pracovní místo	48,00	x		x
Odebrání výrobku z dopravníku	73,60	x		x
Načtení výrobku do systému	142,72	x		x
Vložení výrobku do vratného boxu	192,00	x		x
Vložení štítku do vyhrazeného místa na boxu	24,00	x	x	
Celkový čas procesu	480,32			

Jak je vidět, činnost *Vložení štítku do vyhrazeného místa na boxu* bude dále vykonávat operátor, neboť se jedná o manuálně náročnou práci, se kterou by měl cobot problémy. Tato činnost představuje pouhých 5% z celkového času procesu, jak je možné vidět v tabulce níže.

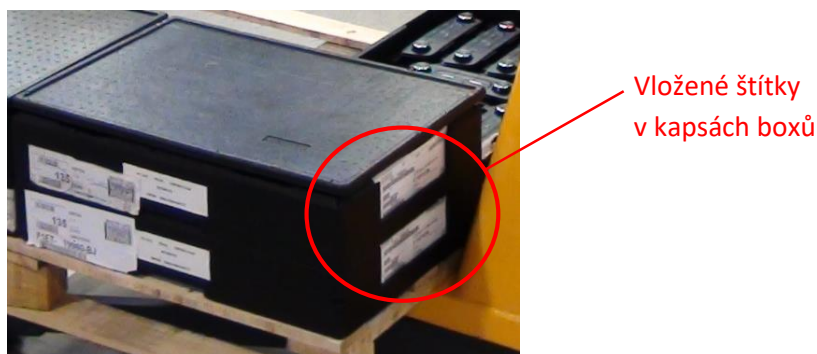
Tabulka 16: Poměr automatizovaných a neautomatizovaných činností

ČASY ČINNOSTÍ	Doba trvání [s]	Doba trvání [%]
Celkový čas procesu	480,32	100,00%
Čas činností prováděné cobotem	456,32	95,00%
Čas činností prováděné operátorem	24,00	5,00%

Na tomto pracovišti by tedy cobot nahradil operátora z 95%. Zbýlých 5% času je čas na umístění štítků na 8 boxů. Tuto činnost by mohl provádět druhý operátor, protože není z časového hlediska vytížen.

Technické problémy automatizace – implementace

1. Prvním a jediným problémem pro cobota je vykonávání činnosti *Vložení štítku do vyhrazeného místa na box*. Vložení štítku (viz *Obrázek 6-2*) je pro cobota náročnou manuální činností, kterou nezvládne a navíc by musel pro tuto činnost vyměnit nástroj.



Obrázek 6-2: Umístění štítků na uzavřených boxech z EPP [zdroj autor]

Shrnutí

Po implementaci by bylo toto pracoviště automatizováno z 95%. Zbýlých 5% činností by musel vykonávat jeden z operátorů linky. Jelikož je snaha nahradit operátora v celém rozsahu a druhý operátor na lince není časově vytížen, budou mu tyto činnosti přiřazeny. Na pracovišti tak z původních dvou operátorů, bude pracovat pouze jeden. Dojde tak k úspoře jednoho operátora. Z tohoto důvodu **je** pracoviště balení na lince B479 **vhodné** a tedy **doporučeno** pro implementování cobota.

Pro toto pracoviště bude v následujících kapitolách navrženo technické řešení implementace a bude též stanovena teoretická doba návratnosti implementace.

6.2.2 Pracoviště BALENÍ na lince MQB

V případě nasazení cobota na toto pracoviště by cobot prováděl většinu činností operátora. Viz tabulka níže.

Tabulka 17: Činnosti možné automatizovat na pracovišti BALENÍ – linka MQB

Seznam činností na pracovišti BALENÍ	Doba trvání [s]	Současný stav	Stav po implementaci	
		Operátor	Operátor	COBOT
Přesun prázdné krabice ze zásobníku na pracovní místo	4,00	x		x
Vložení kartonové mřížky do krabice	38,75	x		x
Vložení prokladu do bedny	21,25	x		x
Odebrání výrobku a vložení do kartonové mřížky	187,50	x		x
Kontrola výrobku (každý 10. kus)	47,50	x		x
Potvrzení tisku štítku	1,67	x		x
Vložení štítku do krabice	6,67	x	x	
Zavření krabice víkem	4,33	x	x	
Nalepení lístku pro kontrolu na krabici/umístění na bednu	6,50	x	x	
Celkový čas procesu	318,17			

Cobot by nedokázal vložit štítek do krabice/bedny a nalepit/umístit lístek na krabici/bednu. Dále by teoreticky v daném taktu linky nestihl zavřít krabici. Činnosti, které by musel dále vykonávat operátor, představují z celkového času procesu pouze 5,5 %. Viz tabulka níže.

Tabulka 18: Poměr automatizovaných a neautomatizovaných činností

ČASY ČINNOSTÍ	Doba trvání [s]	Doba trvání [%]
Celkový čas procesu	318,17	100,00%
Čas činností prováděné cobotem	300,67	94,5%
Čas činností prováděné operátorem	17,50	5,5%

Na tomto pracovišti by cobot nahradil operátora z 94,5%. Zbýlých 5,5% představují činnosti, které by mohl vykonávat druhý operátor, který je z časového hlediska téměř nevytížen.

Technické problémy automatizace – implementace

1. *Vložení štítku do krabice* je činnost, kterou nemůže cobot provádět, neboť by byla nutná výměna nástroje.
2. Pro činnost *Zavření krabice víkem* by byla též nutné výměna nástroje. Dále by hrozilo, že by cobot pro daný takt linky nestihl vykonat zbývající činnosti.
3. *Nalepení lístku pro kontrolu na krabici/umístění na bednu* je též pro cobota manuálně náročná práce, kterou není schopen vykonat.

Shrnutí

I přes výše zmíněné problémy by pracoviště bylo automatizováno z 94,5%. Zbýlých 5,5% činností by musel vykonávat nějaký operátor. Jelikož druhý operátor na lince není časově vytížen lze mu tyto činnosti přiřadit, a na pracovišti tak z původních dvou operátorů, bude pracovat pouze jeden. Dojde tak k úspoře jednoho operátora. Z tohoto důvodu **je** pracoviště balení na lince MQB **vhodné** a tedy **doporučeno** pro implementování cobota.

Pro toto pracoviště bude taktéž v následujících kapitolách navrženo technické řešení a stanovena teoretická doba návratnosti implementace.

6.2.3 Pracoviště KLIPOVÁNÍ na lince LK

V případě nasazení cobota na toto pracoviště by došlo k nahrazení operátora následovně.

Tabulka 19: Činnosti možné automatizovat na pracovišti KLIPOVÁNÍ – linka LK

Seznam činností na pracovišti KLIPOVÁNÍ	Doba trvání [s]	Současný stav	Stav po implementaci	
		Operátor	Operátor	COBOT
Klipování zadního krytu k cloně pomocí PPD	4,00	x		x
Nalepení štítku na ovládací panel	3,12	x	x	
Vyjmutí ovládacího panelu z paletky a jeho kontrola	4,35	x	x	
Připojení 2. konce konektoru audio kabelu do paletky	3,24	x	x	
Vložení panelu do paletky tlačítka vzhůru		x	x	
Stisknutí tlačítka pro odeslání paletky do prostoru robota		x	x	
Čekání na paletku z předchozího pracoviště	5,41	x		x
Celkový čas procesu	20,12			

Cobot by na tomto pracovišti prováděl pouze dvě činnosti. Vzhledem k tomu, že činnost *Čekání na paletku* je ztrátovou činností způsobenou nevyrovnaným taktem jednotlivých pracovišť, vykonával by cobot pouze jednu činnosti přidávající výrobku hodnotu. Jak je vidět v tabulce níže, operátor by byl nahrazen pouze z 46,78%. Viz tabulka níže.

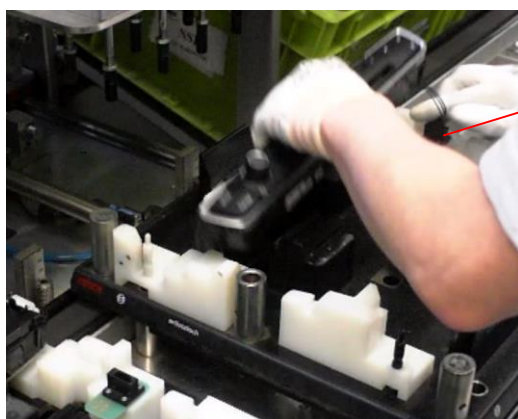
Tabulka 20: Poměr automatizovaných a neautomatizovaných činností

ČASY ČINNOSTÍ	Doba trvání [s]	Doba trvání [%]
Celkový čas procesu	20,12	100,00%
Čas činností prováděné cobotem	9,41	46,78%
Čas činností prováděné operátorem	10,71	53,22%

Cobot by na tomto pracovišti dokázal vykonávat z celkového času procesu pouze 46,78%. Zbýlých 53,22%, které představují jak pohybové, tak kontrolně náročné činnosti nemohou vykonávat ani pracovníci z ostatních pracovišť, neboť jsou plně vytíženi.

Technické problémy automatizace – implementace

1. Činnost *Nalepení štítku na ovládací panelu* je pro cobota manuálně náročnou činností, kterou nedokáže provést. Vedle toho by potřeboval větší prostor, neboť se štítek lepí na místo, které by bylo pro nástroj cobota špatně dostupné.
2. Činnosti *Vyjmutí ovládacího panelu z paletky* společně s činností *Připojení konektoru audio kabelu do konektoru paletky* jsou činnosti, které nemůže cobot pro jejich manuální náročnost a intuitivnost vykonávat.
3. Dalším problémem je, že operátor činnost *Připojení konektoru audio kabelu do konektoru paletky* provádí současně s dalšími činnostmi (viz *Tabulka 19*).



Zapojení konektoru kabelu do konektoru paletky

Obrázek 6-3: Zapojování konektoru kablíku do konektoru paletky [zdroj autor]

4. *Kontrola finger pointingem* je činností, kterou cobot též nedokáže provést. Tato činnost by však mohla být podle odborníků ze společnosti Valeo časem z procesu vyřazena.

Shrnutí

S ovládacím panelem se provádí mnoho operací jak pohybově, tak i kontrolně náročných především zastrčení konektoru je jak manuálně náročná, tak intuitivní činnost. Pracoviště by tak bylo automatizováno z pouhých 46,78%, dále by musel na pracovišti zůstat i operátor. Operátoři z ostatních pracovišť jsou navíc plně vytíženi a nelze jim zbylých 53,22% přiřadit. Na pracovišti by tedy pracoval jak cobot, tak i přibližně z poloviny nevytížený operátor, a tudíž by zde automatizace neměla žádný přínos. Z tohoto důvodu pracoviště klipování na lince LK **není** pro implementování cobota **vhodné**.

Protože je pracoviště nevhodné pro implementaci, nebude dále pro toto pracoviště navrženo technické řešení ani stanovena teoretická doba návratnosti implementace.

6.2.4 Pracoviště KLIPOVÁNÍ na lince C346MCA

V případě nasazení cobota na toto pracoviště by došlo k nahrazení operátora následovně.

Tabulka 21: Činnosti možné automatizovat na pracovišti KLIPOVÁNÍ – linka C346MCA

Seznam činností na pracovišti KLIPOVÁNÍ	Doba trvání [s]	Současný stav	Stav po implementaci	
		Operátor	Operátor	COBOT
Montáž podsestav 1, 2 a ostatní manipulační činnosti	32,74	x	x	
Klipáž pomocí PPD	3,18	x		x
Nalepení štítku na ovládací panel	3,06	x	x	
Odložení panelu na poličku včetně letmé vizuální kontroly	2,18	x		x
Přesun panelu z poličky do přípravku a jeho zasunutí	2,35	x		x
Vysunutí přípravku	1,12	x		x
Celkový čas procesu	44,63			

Cobot by nedokázal vykonávat *Montáž podsestav 1, 2 a ostatní manipulační činnosti*. Jak již bylo řečeno, jedná se o množinu těchto činností: otevření plných beden s komponenty a úklid beden prázdných, vkládání membrány a její nutný střídavý přesun v prostoru se vzduchem, mazání plošného spoje a další drobné činnosti k sestavení podsestav výrobku. Dále by nemohl vykonávat činnost *Nalepení štítku na ovládací panel*. Tyto všechny zmíněné činnosti tvoří z celkového času procesu více než 80%. Viz tabulka níže.

Tabulka 22: Poměr automatizovaných a neautomatizovaných činností

ČASY ČINNOSTÍ	Doba trvání [s]	Doba trvání [%]
Celkový čas procesu	44,63	100,00%
Čas činností prováděné cobotem	8,82	19,77%
Čas činností prováděné operátorem	35,80	80,23%

Činnosti, které musí být v rámci tohoto pracoviště udělány, představují z celkového času procesu více než 80%, což je mnoho, a proto je nelze přesunout na druhého pracovníka.

Technické problémy automatizace – implementace

1. *Montáž podsestav 1, 2 a ostatní manipulační činnosti* není možné automatizovat, neboť se jedná o množinu intuitivních a složitých činností na manipulaci.
2. *Nalepení štítku na ovládací panelu* je pro cobota manuálně náročnou činností, kterou nedokáže provést. Vedle toho by potřeboval větší prostor, neboť se štítek lepí na místo, které by bylo pro nástroj cobota špatně dostupné.
3. Provádění vizuální kontroly během odkládání panelu na poličku cobot nedokáže provést. Dle odborníků ze společnosti Valeo by však bylo možné kontrolu postupem času z procesu vyřadit.

Shrnutí

Problém č. 3 je možné eliminovat, ovšem problém č. 1 a 2 nikoliv. Protože by pracoviště bylo možné automatizovat pouze z necelých 20%, operátor by musel zbylých 80% stejně vykonávat. Automatizace tohoto pracoviště je příliš malá a v podstatě by většinu času musel stejně vykonávat operátor. Z tohoto důvodu pracoviště klipování na lince C346MCA **není** pro implementování cobota **vhodné**.

Protože je pracoviště též nevhodné pro implementaci, nebude též pro toto pracoviště navrženo technické řešení ani stanovena teoretická doba návratnosti implementace.

6.3 Návrh technického řešení implementace na vhodných pracovištích

Pracoviště balení na lince B479 a pracoviště balení na lince MQB byla na základě kapitoly 6.2 posouzena, jako pracoviště vhodná a doporučena pro implementování cobota. Z tohoto důvodu u nich bude navrženo technické řešení implementace. Technické řešení je pro obě dvě pracoviště vytvořeno formou slovního popisu procesu balení.

6.3.1 Návrh technického řešení na pracovišti BALENÍ – linka B479

V kapitole: 6.2.1 byly zjištěny následující činnosti, které v rámci tohoto pracoviště může cobot vykonávat:

- přesun prázdného boxu na pracovní místo;
- odebrání výrobku z dopravníku;
- načtení výrobku do systému;
- vložení výrobku do vratného boxu.

Pro vykonávání těchto činností byl ze dvou nejvhodnějších cobotů (viz *Tabulka 14*) společností DREAMland doporučen cobot UR10 a jako nástroj libovolné pneumatické chapadlo. Nástroj musí být navíc vybaven kamerou Keyence, která zajistí přesnou navigaci k uchopení výrobku. Dále musí být na pracovišti vytvořen zásobník na prázdné a na plné boxy. V poslední řadě bude součástí pracoviště skluzový gravitační dopravník, který zajistí přesun plných boxů z pracovního prostoru cobota do zásobníku.

Postup procesu balení po implementaci na tomto pracovišti by mohl vypadat následovně.

Postup procesu balení po implementaci

1. Cobot typu UR10 uchopí prázdný vratný box z EPP ze zásobníku a následně ho odloží na pracovní místo pro naplnění výrobky.
2. Pomocí kamery Keyence cobot přesně uchopí výrobek nacházející se na výstupního dopravníku linky.
3. Výrobek následně nasměruje ke čtečce pro načtení výrobku do systému a poté ho vloží do vratného boxu, který je již na pracovním místě. Tímto způsobem naplní celý box.
4. Poté plný box přesune pomocí skluzového gravitačního dopravníku do zásobníku s plnými boxy. Zde operátor boxy odebere, vloží do nich štítek, složí je na sebe a vrchní boxy nakonec zavře víkem.
5. Proces pokračuje opět bodem 1.

Podmínky implementace

Pro zajištění procesu balení bude klíčové splnit tyto podmínky:

- cobot musí být umístěn v dosahu výstupního dopravníku linky;
- zásobník s prázdnými boxy musí mít vyhrazené místo a být v dosahu cobota;
- skluzový gravitační dopravník musí být navržen tak, aby výrobky v boxech nebyly vlivem přesunu po dopravníku poškozeny;
- zásobník na plné boxy musí mít vyhrazené místo;
- operátor musí mít zajištěn přístup k tiskárně na štítky.

Je možné, že se během implementace objeví bezpečnostní rizika pro operátory, které dle legislativy bude nutné eliminovat bezpečnostními prvky (např. světelnou závorou, 3D skenerem či nášlapným kobercem), které zpomalí či dokonce zastaví pracujícího cobota v případě, že do jeho prostoru vstoupí člověk.

Technické řešení na tomto pracovišti nepředstavuje žádné výrazné problémy. I když je řešení navrženo pro balení do vratných boxů z EPP, při kterém cobot nahradí celého operátora, je možné ho využít i pro balení do kartonových krabic. V takovém případě by operátorovi však pouze vypomáhal tím, že by převzal činnosti: odebrání výrobku z dopravníku a načtení výrobku do systému, přičemž by ho následně ještě mohl podat pohodlně operátorovi, který by výrobek dále zabalil. Touto pomocí by cobot ušetřil operátorovi 3,5s/kus – tedy 1,4min/krabici. Po zabalení 7 krabic by měl operátor teoreticky 10min času navíc apod. Celý náměr pro balení do kartonových krabic zde není uveden, neboť je nad rámec této práce.

Cena technického řešení

Společnost DREAMland odhadla následující náklady na investici jednotlivých položek technického řešení implementace.

Tabulka 23: Pořizovací náklady na investici technického řešení na lince B479

Položka	Cena položky [Kč]
Cobot UR10 včetně podstavce	850 000
Kamera Keyence pro navigaci chapadla	400 000
Pneumatické chapadlo	150 000
Software a naprogramování cobota	200 000
Elektrika (elektrické spoje a ostatní elektrické části)	150 000
Mechanika (gravitační dopravník, potřebné zásobníky a ostatní mechanické části)	150 000
CELKEM	1 900 000

6.3.2 Návrh technického řešení na pracovišti BALENÍ – linka MQB

V kapitole: 6.2.2 byly zjištěny následující činnosti, které v rámci tohoto pracoviště může cobot vykonávat:

- přesun prázdné krabice ze zásobníku na pracovní místo;
- vložení kartonové mřížky do krabice;
- vložení prokladu do bedny;
- odebrání výrobku a vložení do kartonové mřížky;
- kontrola výrobku (každý 10. kus);
- potvrzení tisku štítku.

Pro vykonávání těchto činností byl ze dvou nejvhodnější cobotů (viz *Tabulka 14*) společností DREAMland doporučen cobot UR10 a jako nástroj pneumatické chapadlo pro úchop drobných dílů. Nástroj musí být vybaven kamerou Keyence, která zajistí přesnou navigaci k uchopení výrobku a dále druhou kamerou pro kontrolu výrobků. Dále musí být na pracovišti vytvořen zásobník na prázdné a plné krabice/bedny a zásobník na proklady s mřížky. Nejdůležitější součástí pracoviště bude přepravní dopravník, který zajistí jak přesun prázdných krabic/beden ze zásobníku do pracovního prostoru cobota v požadovaném intervalu, tak z tohoto prostoru (po naplnění krabice/bedny) do zásobníku plných krabic/beden přes další skluzový gravitační dopravník.

Postup procesu balení po implementaci na tomto pracovišti by mohl vypadat následovně.

Postup procesu balení po implementaci

1. Ze zásobníku budou prázdné krabice/bedny dopravovány pomocí přepravního dopravníku do pracovního prostoru cobota, kde zastaví.
2. Cobot typu UR10 uchopí kartonovou mřížku (spojena s prokladem) ze zásobníku a vloží ji do krabice/bedny.

3. Pomocí kamery Keyence, která naviguje nástroj, přesně uchopí výrobek z výstupního dopravníku linky a druhá kamera u každého 10. výrobku provede kontrolu (cca 2s).
4. Cobot výrobky následně vloží do mřížky v krabici/bedně. Opakováním body 2 až 4 naplní celou krabici/bednu.
5. Po naplnění krabice/bedny dojde k přesunu plné krabice/bedny skluzovým gravitačním dopravníkem do zásobníku, kde krabici/bednu převezme operátor, vloží do ní vytisknutý štítek a krabici zavře víkem. Nakonec operátor na krabici/bednu umístí lístek pro kontrolu a bednu umístí do volného prostoru v zásobníku.

Činnost *Potvrzení tisku štítku* nebude cobot vykonávat, neboť se tisk lístku propojí se systémem dopravníku a po naplnění krabice/bedny dojde k jeho tisku automaticky.

Podmínky implementace

Pro zajištění procesu balení bude klíčové splnit tyto podmínky:

- zásobník s prázdnými krabicemi/bednami musí být propojen s dopravníkem;
- krabice musí být v zásobníku již složeny;
- dopravník pro přepravu krabic/beden musí zajistit stabilní pozici krabice/bedny při jejím naplňování výrobky;
- cobot musí být umístěn v dosahu výstupního dopravníku linky a přepravního dopravníku;
- kartonová mřížka a proklad musí být v zásobníku spojeny v jeden celek;
- pro tento celek musí být umístěn zásobník též v dosahu cobota
- skluzový gravitační dopravník musí být navržen tak, aby výrobky v krabicích/bednách nebyly vlivem přesunu po dopravníku poškozeny;
- zásobník na plné krabice/bedny musí mít vyhrazené místo na pracovišti;
- operátor musí mít zajištěn přístup k tiskárně na štítky.

Je možné, že se během implementace objeví bezpečnostní rizika pro operátory, které dle legislativy bude nutné eliminovat bezpečnostními prvky (např. světelnou závorou, 3D skenerem či nášlapným kobercem), které zpomalí či dokonce zastaví pracujícího cobota v případě, že do jeho prostoru vstoupí člověk.

Implementace na pracovišti balení na lince MQB bude o něco náročnější, neboť je zde nižší takt. Vlivem toho je cobot zaměřen na samotné vkládání dílů do krabice/bedny a ostatní činnosti jsou automatizovány tak, aby s nimi neztrácel čas. Technické řešení na tomto pracovišti je navíc použitelné pro oba dva typy obalů – kartonové krabice a plastové bedny.

Cena technického řešení

Společnost DREAMland odhadla následující náklady na investici jednotlivých položek technického řešení implementace. Jak je vidět v tabulce níže, technické řešení na lince MBQ bude kvůli jeho náročnosti dražší než na lince B479.

Tabulka 24: Pořizovací náklady na investici technického řešení na lince MQB

Položka	Cena položky [Kč]
Cobot UR10 včetně podstavce	850 000
Kamera Keyence pro navigaci chapadla	400 000
Kamera Keyence pro kontrolu kusů	600 000
Pneumatické chapadlo	150 000
Software a programování	200 000
Elektrika (elektrické spoje, dopravník na přesun krabic, propojení celého systému a ostatní elektrické části)	200 000
Mechanika (dopravník na přesun krabic, gravitační dopravník, potřebné zásobníky a ostatní mechanické části)	200 000
CELKEM	2 600 000

Navržená řešení (včetně pořizovacích nákladů) obou pracovišť se mohou od reálných lišit, protože způsoby jakým bude cobot činnosti přesně provádět, zařízení, která budou pro automatizaci potřebná, dispoziční uspořádání, které bude změněno a další jiné podmínky, které je nutné na pracovišti vytvořit lze přesně definovat, až k implementaci cobota reálně dojde.

6.4 Stanovení doby návratnosti implementace na vhodných pracovištích

Vzhledem k tomu, že jsou pracoviště na sobě nezávislá a pro každé bylo navrženo technické řešení implementace, bude doba návratnosti stanovena pro každé pracoviště zvlášť.

Protože hlavním podnětem k investici bylo uspoření pracovní síly na pracovištích, byla doba návratnosti (TN) stanovena z úspory ve mzdových nákladech, viz níže.

$$TN = \frac{PNI [Kč]}{ÚMN [Kč/rok]}$$

Kde

TN je doba návratnosti;

PNI jsou pořizovací náklady na investici;

ÚMN je úspora ve mzdových nákladech.

Pro stanovení doby návratnosti se bude uplatňovat následující postup výpočtu:

1. Pořizovací náklady na investici – PNI

Jedná se o součet veškerých jednorázových nákladů spojených s implementací. Tyto náklady byly společností DREAMland vyčísleny pro obě navržená technická řešení (viz kapitola 6.3).

2. Úspora ve mzdových nákladech na operátora – ÚMNO

Jedná se o roční mzdové náklady operátora, které budou na daném pracovišti uspořeny vlivem nahrazení operátora cobotem.

3. Mzdové náklady na servis cobota – MNS

Protože je nutné provádět servis cobotů, je nutné stanovit roční mzdové náklady externího servisního technika. Součástí těchto nákladů jsou i náklady na cestu, kterou musí technik z Kosmonos (sídlo společnosti DREAMland) do Rakovníku (sídlo společnosti Valeo) a zpět urazit.

4. Mzdové náklady na údržbu cobota – MNÚ

Kromě mzdových nákladů servisního technika je třeba stanovit i mzdové náklady údržbáře ze společnosti Valeo. Při výpočtu těchto nákladů se vycházelo z informací o údržbě cobota UR5, kterého ve společnosti Valeo mají.

5. Úspora ve mzdových nákladech – ÚMN

Úspora ve mzdových nákladech je úspora ve mzdových nákladech za operátora, která je ponížena o mzdové náklady servisního technika a údržbáře.

6. Doba návratnosti implementace – TN

Jedná se o podíl položek č. 1 a 5.

Dle tohoto postupu bude nyní vypočtena doba návratnosti implementace na obou pracovištích.

6.4.1 Stanovení TN na pracovišti BALENÍ – linka B479

1. Pořizovací náklady na investici – PNI

Pořizovací náklady na investici technického řešení pro pracoviště balení na lince B479 společnost DREAMland odhadla na 1 900 000 Kč (viz Tabulka 23).

$$\underline{\underline{PNI = 1\,900\,000\text{ Kč}}}$$

2. Úspora ve mzdových nákladech na operátora – ÚMNO

Mzdové náklady, které budou implementací uspořeny, se vypočítají jako součin položek v následující tabulce dle vzorce (1).

Tabulka 25: Položky a jejich hodnoty pro výpočet ÚMNO

Položka	Hodnota položky
Hodinové náklady na operátora	18 €/h
Počet pracovních hodin za směnu	7,5 h
Počet směn na daném pracovišti	3 směny
Počet pracovních dní v roce 2017	250 dní
Měnový kurz	26,5 Kč/€
Počet uspořené operátorů na 1 směně	1

$$\text{ÚMNO} = (18 * 7,5 * 3 * 250 * 26,5) * 1 \quad (1)$$

$$\text{ÚMNO} = \underline{\underline{2\ 683\ 125\ Kč}}$$

Tato částka je v podstatě úspora mezd 3 pracovníků (3 směny).

Ačkoliv bylo uspořeno 3 pracovníků, na druhé straně je nutné vypočítat mzdu 1 servisního technika a mzdu 1 údržbáře (viz další výpočty).

3. Mzdové náklady na servis cobota – MNS

Servis cobota se provádí pouze 1 za rok a vyškoleným servisním technikem trvá pouze 6h. Náklady na mzdy servisního technika se vypočítají jako součin následujících položek uvedených v tabulce níže dle vzorce (2).

Tabulka 26: Položky a jejich hodnoty pro výpočet MNS

Položka	Hodnota položky
Hodinová sazba servisního technika za práci	89 €/h
Počet hodin servisu pro 5 000 – 10 000 mh/rok	6 h/rok
Hodinová sazba servisního technika za cestu	60 €/h
Počet hodin na cestě	3 h
Kilometrová sazba	0,65 €/km
Počet ujetých kilometrů	250 km
Měnový kurz	26,5 Kč

$$\text{MNS} = (89 * 6 * 26,5) + (60 * 3 * 26,5) + (0,65 * 250 * 26,5) \quad (2)$$

$$\text{MNS} = (14\ 151) + (4\ 770) + (4\ 306)$$

$$\text{MNS} = \underline{\underline{23\ 227\ Kč}}$$

4. Mzdové náklady na údržbu cobota – MNÚ

Údržba není časově náročná a každý měsíc se provádí pouze jedna, která trvá průměrně 1h. Mzdové náklady na údržbu se vypočítají jako součin položek v tabulce níže.

Tabulka 27: Položky a jejich hodnoty pro výpočet MNÚ

Položka	Hodnota položky
Hodinová sazba údržbáře	15 €/h
Průměrná délka jedné údržby	1 h
Počet údržeb za rok	12
Měnový kurz	26,5 Kč

$$MNÚ = 15 * 1 * 12 * 26,5 \quad (3)$$

$$\underline{MNÚ = 4\,770\,Kč}$$

5. Úspora ve mzdových nákladech – ÚMN

Úspora ve mzdových nákladech se vypočte jako rozdíl mzdových nákladů dle vzorce (4) následovně.

$$ÚMN = ÚMNO - MNS - MNÚ \quad (4)$$

$$ÚMN = 2\,683\,125 - 23\,227 - 4\,770$$

$$\underline{ÚMN = 2\,655\,128\,Kč}$$

6. Doba návratnosti implementace – TN

Doba návratnosti se stanoví jako podíl pořizovacích nákladů na investici a úspory ve mzdových nákladech.

$$TN = \frac{PNI}{ÚMN} \quad (5)$$

$$TN = \frac{1\,900\,000}{2\,655\,128}$$

$$\underline{TN \approx 0,72\,roku}$$

Teoretická doba návratnosti implementace **0,72 roku (8,6 měsíců)** je dle požadavku společnosti Valeo přijatelná hodnota. Ovšem to bude platit pouze v případě, že dojde ke standardizování jednoho typu obalu, a to vratných boxů z EPP.

V případě nemožnosti standardizování tohoto typu obalu, bude teoretická doba návratnosti dvojnásobná (**TN ≈ 1,44 roku**), jelikož poměr zakázek balených do kartonových krabic a vratných boxů z EPP je 50:50. I tak je tato hodnota TN pro společnost Valeo přijatelnou.

Jak už bylo řečeno, cobota je možné využít i v případě balení do kartonových krabic, pro činnosti odebrání výrobku z dopravníku, jeho načtení a podání operátorovi.

6.4.2 Stanovení TN na pracovišti BALENÍ – linka MQB

1. Pořizovací náklady na investici – PNI

Pořizovací náklady na investici technického řešení pro pracoviště balení na lince MQB společnost DREAMland odhadla na 2 600 000 Kč (viz *Tabulka 24*).

$$\underline{PNI = 2\,600\,000\,Kč}$$

2. Úspora ve mzdových nákladech na operátora – ÚMNO

Mzdové náklady, které budou implementací uspořeny, se vypočítají stejně jako u linky B479 dle vzorce (1) nebo (6), neboť i zde bude ušetřen 1 operátor.

Tabulka 28: Položky a jejich hodnoty pro výpočet ÚMNO

Položka	Hodnota položky
Hodinové náklady na operátora	18 €/h
Počet pracovních hodin za směnu	7,5 h
Počet směn na daném pracovišti	3 směny
Počet pracovních dní v roce 2017	250 dní
Měnový kurz	26,5 Kč/€
Počet uspořené operátorů na 1 směně	1

$$\text{ÚMNO} = (18 * 7,5 * 3 * 250 * 26,5) * 1 \quad (6)$$

$$\text{ÚMNO} = \underline{\underline{2\ 683\ 125\ Kč}}$$

Tato částka je opět v podstatě úspora mezd 3 pracovníků (3 směny).

Ačkoliv bylo uspořeno 3 operátorů, na druhé straně je nutné vypočítat mzdu servisního technika, který provádí servis cobota (viz další výpočty).

3. Mzdové náklady na servis cobota – MNS

Servis cobota se provádí pouze 1 za rok a vyškoleným servisním technikem trvá pouze 6h. Náklady na mzdy servisního technika se vypočítají jako součin následujících položek uvedených v tabulce níže dle vzorce (7).

Tabulka 29: Položky a jejich hodnoty pro výpočet MNS

Položka	Hodnota položky
Hodinová sazba servisního technika za práci	89 €/h
Počet hodin servisu pro 5 000 – 10 000 mh/rok	6 h/rok
Hodinová sazba servisního technika za cestu	60 €/h
Počet hodin na cestě	3 h
Kilometrová sazba	0,65 €/km
Počet ujetých kilometrů	250 km
Měnový kurz	26,5 Kč

$$\text{MNS} = (89 * 6 * 26,5) + (60 * 3 * 26,5) + (0,65 * 250 * 26,5) \quad (7)$$

$$\text{MNS} = (14\ 151) + (4\ 770) + (4\ 306)$$

$$\text{MNS} = \underline{\underline{23\ 227\ Kč}}$$

4. Mzdové náklady na údržbu cobota – MNÚ

Údržba není časově náročná a každý měsíc se provádí pouze jedna, která trvá průměrně 1h. Tyto náklady se vypočítají jako součin položek uvedených v tabulce níže.

Tabulka 30: Položky a jejich hodnoty pro výpočet MNÚ

Položka	Hodnota položky
Hodinová sazba údržbáře	15 €/h
Průměrná délka jedné údržby	1 h
Počet údržeb za rok	12
Měnový kurz	26,5 Kč

$$MNÚ = 15 * 1 * 12 * 26,5 \quad (8)$$

$$\underline{MNÚ = 4\,770\,Kč}$$

5. Úspora ve mzdových nákladech – ÚMN

Úspora ve mzdových nákladech se vypočte jako rozdíl mzdových nákladů dle vzorce (9) následovně.

$$ÚMN = ÚMNO - MNS - MNÚ \quad (9)$$

$$ÚMN = 2\,683\,125 - 23\,227 - 4\,770$$

$$\underline{ÚMN = 2\,655\,128\,Kč}$$

6. Doba návratnosti implementace – TN

Doba návratnosti se stanoví opět jako podíl pořizovacích nákladů na investici a úspory ve mzdových nákladech.

$$TN = \frac{PNI}{ÚMN} \quad (10)$$

$$TN = \frac{2\,600\,000}{2\,655\,128}$$

$$\underline{TN \approx 0,98 \text{ roku}}$$

Doba návratnosti implementace cobota na pracoviště balení na lince MQB je přibližně **1 rok**, což je dle požadavku společnosti Valeo přijatelná hodnota.

Vypočítaná doba návratnosti implementace obou technických řešení je spíše teoretickou, neboť se může od reálné doby návratnosti lišit. Důvodem je, že se může po implementaci lišit i samotné technické řešení od navrženého a tím pádem i náklady na investici mohou být odlišné.

6.5 Umístění cobota na pracoviště v souladu s bezpečností

V kapitole: *Legislativní problémy při implementace cobotů* byly vysvětleny legislativní problémy, které se objevují při implementaci cobota, a popsány způsoby, jak tyto problémy řešit. Jelikož je politika společnosti Valeo založena na zajištění maximální bezpečnosti při práci a na tom, aby vše bylo legislativou podloženo, je nutné se při implementaci cobota řídit legislativními předpisy.

Vzhledem k tomu, že se na obou vhodných pracovištích provádí pouze uchopování a manipulace z lehkými drobnými předměty a tlačení, stejné činnosti bude provádět i cobot bez použití jakýchkoliv nebezpečných nástrojů. Nemůže tedy dojít k poranění operátora reznými částmi (např. od nože), poleptáním, spálením aj. Jediným nebezpečím pro operátory je fyzický kontakt s cobotem samým. Tento případ však řeší technická specifikace ISO/TS 15066:2016. Viz str. 42.

Cobot tak na obou pracovištích bude moci být umístěn volně, tedy nebude uzavřen v kleci. Na obou pracovištích však bude během samotné implementace bezpečnostním technikem společnosti Valeo provedeno posouzení rizik při práci s cobotem, na základě čehož bude rozhodnuto, zda je nutné přidat na pracoviště nějaká bezpečnostní opatření.

V případě, že bezpečnostní technik objeví, pro něj možná, bezpečnostní rizika, bude nutné opatřit přístup ke cobotům bezpečnostními prvky (např. světelnou závorou, 3D skenerem či nášlapným kobercem), které zpomalí či dokonce zastaví pracujícího cobota v případě, že do jeho prostoru vstoupí člověk.

7 ZÁVĚR

Práce byla vytvořena pro společnost Valeo Autoklimatizace, k. s., která požadovala na několik pracovišť ve výrobním závodě implementovat cobota především za účelem nahrazení lidských pracovních sil. Cílem bylo zjistit, na kterých pracovištích by cobot nahradil pracovníka v plném rozsahu a tato pracoviště doporučit pro implementaci, kterou zajistí jiná externí společnost. Práce byla rozdělena do teoretické a praktické části.

V teoretické části byla nejprve vymezena podstata automatizace a robotizace, byly definovány základní pojmy z těchto oblastí. V další kapitole byly představeny způsoby hodnocení výrobních procesů a kritéria, která se pro hodnocení používají. Dále se práce zabývala definováním cobotů, jejich možnostem využití v praxi a nástrojům, které na ně lze aplikovat. Nakonec byly představeny a porovnány dostupné typy cobotů na trhu. V poslední kapitole teoretické části byla provedena analýza předpisů, které stanovují bezpečnostní požadavky při užívání strojů a strojních zařízení s cílem najít podmínky pro bezpečné užívání cobotů na pracovištích. Výsledkem bylo zjištění, že existuje technická specifikace ISO/TS 15066:2016, která jako jediná tyto podmínky specifikuje a definuje též společný pracovní prostor cobota a člověka. Na závěr této kapitoly byly shrnuty legislativní problémy související s implementací cobotů.

V praktické části práce byla nejprve provedena analýza současného stavu ve společnosti. Byla definována společnost, vyráběné výrobky a pracoviště, která společnost vybrala pro implementaci. Společnost bylo nutné několikrát navštívit za účel získání potřebných dat, především videozáznamů z výroby na vybraných pracovištích, které byly podrobeny analýze. Tím pro každé pracoviště byly zjištěny jak činnosti, které se zde vykonávají, tak délka trvání těchto činností.

V další kapitole byly nejprve z dostupných cobotů na trhu, vybrány dva coboty, které jsou pro vybraná pracoviště nejvhodnější, a to typ UR5 a UR10 společnosti Universal Robots. Poté byly na každém pracovišti zjištěny činnosti, které je možné automatizovat, a kolik procent z celkového času procesu tyto činnosti představují. Tímto bylo zjištěno, zda jsou pracoviště vhodná či nevhodná pro automatizaci. Vhodná pracoviště byla doporučena pro implementování cobota. Z celkem čtyř vybraných pracovišť byla pro realizaci implementování doporučena dvě pracoviště. Pracoviště balení na lince B479 a pracoviště balení na lince MQB. Pro obě pracoviště bylo dále navrženo technické řešení implementace a byla stanovena teoretická doba návratnosti. Na závěr bylo popsáno, jakým způsobem bude cobot z hlediska bezpečnosti na pracovištích umístěn.

Pro implementaci cobotů na vhodná pracoviště byla zvolena společnost DREAMland s. r. o., která se zabývá implementací robotů společnosti Universal Robots.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Knihy, výukové materiály, normy, zákony apod.

- [1] *Automatizace a automatizační technika: systémové pojetí automatizace*. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3628-7.
- [2] KOLÍBAL, Zdeněk a Radek KNOFLÍČEK. *Morfologická analýza stavby průmyslových robotů*. Košice: Viena, 2000. Edice vědecké a odborné literatury. ISBN 80-88922-27-5.
- [3] PISKAČ, Luděk. *Průmyslové roboty*. 2. přeprac. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2004. ISBN 80-7043-278-0.
- [4] KLEINOVÁ, Jana. *Ekonomické hodnocení výrobních procesů*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005. ISBN 80-7043-364-7.
- [5] BÉLANGER-BARRETTE, Mathieu. *COLLABORATIVE ROBOT EBOOK* [online]. Sixth edition. Robotiq.com, 2015 [cit. 2016-12-08]. Dostupné z: <http://blog.robotiq.com/collaborative-robot-ebook>
- [6] *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2006/42/ES ze dne 17. května 2006 o strojních zařízeních a o změně směrnice 95/16/ES (přepracované znění), článek 2*. In: . Praha, 2016.
- [7] *Zákon č. 22/1997 Sb. O technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů;: Předmět úpravy*. In: . Praha, 1997.
- [8] *Nariženi vlády č. 378/2001 Sb. kterým se stanoví bližší požadavky na bezpečný provoz a používání strojů, technických zařízení, přístrojů a náradí*. In: . Praha, 2001, číslo 378.
- [9] ČSN EN ISO 10218-1 Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 1: Roboty. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [10] ČSN EN ISO 10218-2 Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 2: Systémy robotů a integrace. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [11] *Nariženi č. 176/2008 Sb. o technických požadavcích na strojní zařízení*. In: . Praha, 2008, číslo 176.
- [12] *ISO/TS 15066 Robots and robotics devices – Colaborative robots*. ISO, 2016.

Internetové zdroje

- [13] *Risk Assessment for 'Safe' Collaborative Robots Still Needed* [online]. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://www.brinknews.com/risk-assessment-for-safe-collaborative-robots-still-needed/>
- [14] *Základní pojmy z automatizace: 32 termínů, které musíte znát* [online]. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/zakladni-pojmy-z-automatizace-32-terminu-ktere-musite-znat/>
- [15] *Metody stanovení vah kritérií* [online]. [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://kds.vsb.cz/mhd/kvalita-vahy.htm>
- [16] *Historický vývoj automatizace? Poznejte 12 zásadních dat* [online]. [cit. 2016-11-29]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/historicky-vyvoj-automatizace-poznejte-12-zasadnich-dat/>
- [17] *Manufacturer of World's First Collaborative Robot Illustrates the History of the "Cobot"* [online]. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://www.businesswire.com/news/home/>

- 20160517006085/en/Manufacturer-World%E2%80%99s-Collaborative-Robot-Illustrates-History-%E2%80%9CCobot%E2%80%9D
- [18] *Jaký je vlastně význam slova robot?* [online]. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/kdo-vymyslel-slovo-robot-karel-capek-to-nebyl/>
- [19] *Metody a nástroje zlepšování procesů* [online]. [cit. 2017-03-09]. Dostupné z: <http://katedry.fmfi.vsb.cz/639/qmag/mj38-cz.htm>
- [20] *Robotické systémy jsme úspěšně implementovali u mnoha výrobců* [online]. [cit. 2016-12-08]. Dostupné z: <http://www.arc-robotics.cz/>
- [21] *VALEO V ČESKÉ REPUBLICĚ* [online]. [cit. 2016-11-29]. Dostupné z: <http://www.valeo-czechrepublic.com/cs/valeo-in>
- [22] *PROHLÁŠENÍ O SHODĚ, CE* [online]. [cit. 2016-11-29]. Dostupné z: <http://ezu.cz/produkty/prohlaseni-o-shode-ce/>
- [23] *What are some common industrial robot names?* [online]. [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: <https://www.robots.com/faq/show/what-are-some-common-industrial-robot-names>
- [24] *What are the main types of robots?* [online]. [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: <https://www.robots.com/faq/show/what-are-the-main-types-of-robots>
- [25] *SCARA robot / 4-axis / industrial* [online]. [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/adept-technology/product-6076-410851.html>
- [26] *Standardní víceúčelový robot s užitečným zatížením 50 kg* [online]. [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: <http://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/%C5%99ada-m-710/m-710ic-50>
- [27] *MoFTaG - Model-free flexible trajectory generation* [online]. [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: <http://www.echord.info/wikis/website/moftag.html>
- [28] *Cartesian robots* [online]. [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: <http://blog.robotiq.com/bid/63528/what-are-the-different-types-of-industrial-robots>
- [29] *YuMi® photo gallery* [online]. [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/yumi>
- [30] *Automatizace*. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-12-07]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Automatizace>
- [31] *Applications* [online]. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://www.rethinkrobotics.com/applications/>
- [32] *ROBOTIZACE* [online]. [cit. 2016-12-07]. Dostupné z: <http://www.temex.cz/katalog/produkty-a-sluzby/automatizace/108/robotizace.html>
- [33] *Automat*. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-12-07]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Automat>
- [34] *Výrobní proces* [online]. [cit. 2016-12-07]. Dostupné z: <http://ekonomika-otazky.studentske.cz/2008/05/vrobn-proces.html>
- [35] *Proces* [online]. [cit. 2016-12-07]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/proces>
- [36] *Co je to technická norma?* [online]. [cit. 2017-03-09]. Dostupné z: <http://www.unmz.cz/urad/co-je-to-technicka-norma->
- [37] *Robots and humans can work together with new ISO guidance* [online]. [cit. 2017-03-09]. Dostupné z: <https://www.iso.org/news/2016/03/Ref2057.html>
- [38] *RG2 GRIPPER* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/plus/product/rg2-gripper-22290-22723/>

- [39] *Electrically-actuated gripper / parallel / angular / 2-jaw* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/schunk-gmbh-co-kg/product-7038-1861070.html>
- [40] *Collaborative robots in the automotive industry* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://automotive569.rssing.com/chan-11048332/all_p4.html
- [41] *Výrobky od společnosti Universal Robots* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/v%C3%BDrobky/>
- [42] Firemní dokumentace a soubory

